



**KAJIAN LABORATORIUM SIFAT *MARSHALL* DAN DURABILITAS
HOT ROLLED SHEET – WEARING COARSE (HRS-WC)
DENGAN MENGGUNAKAN AGGREGAT HALUS
PASIR PANTAI SENDANG SIKUCING**

TESIS

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro

Disusun Oleh :

SUPARTO
NIM. L. 4002075

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
TAHUN 2005**

UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft:	4343/T/mrs/ci...
Tgl.	24-7-06



HALAMAN PENGESAHAN

**KAJIAN LABORATORIUM SIFAT *MARSHALL* DAN DURABILITAS
HOT ROLLED SHEET – WEARING COARSE (HRS-WC)
DENGAN MENGGUNAKAN AGGREGAT HALUS
PASIR PANTAI SENDANG SIKUCING**

Disusun Oleh :

SUPARTO

NIM. L. 4002075

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal:

Agustus 2005

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji:

- | | |
|---------------|----------------------------------|
| 1. Ketua | : Drs. Bagus Priyatno ST., MT. |
| 2. Sekretaris | : Ir. Bambang Hariyadi, M.Sc. |
| 3. Anggota 1 | : Dr.Ir. Sri Prabandiyani, M.Sc. |
| 4. Anggota 2 | : Ir. Muhrozi, MS |
| 5. Anggota 3 | : Ir. Siti Hardiyati, MT. |

1
2
3
4
5

Semarang, Agustus 2005

Universitas Diponegoro

Program Pasca Sarjana

Magister Teknik Sipil

Ketua,



Dr. L. Saripin, M.Eng

NIP.131668511

ABSTRAK

Beberapa Kota/Kabupaten yang terletak di daerah yang berhubungan dengan garis pantai dalam era otonomi, banyak yang menghendaki dalam pembangunan prasarana transportasi menggunakan bahan – bahan lokal sebagai bagian dari Pendapatan Daerah. Khususnya Kabupaten Kendal yang mempunyai deposit kandungan pasir pantai yang cukup besar di daerah Sendang Sikucing. Diharapkan pasir pantai Sendang sikucing dapat menjadi bahan alternatif pengganti agregat halus yang biasanya menggunakan pasir kali yang keberadaannya makin sulit. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian dengan uji laboratorium tentang pengaruh penggunaan pasir pantai dari Sendang Sikucing di Kabupaten Kendal sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal panas terhadap sifat *Marshall* dan Durabilitas. Desain campuran yang dipakai adalah desain untuk jenis campuran *HRS-WC*, dimana campuran tersebut merupakan campuran aspal panas dengan menggunakan gradasi agregat senjang, dengan harapan mendapatkan suatu campuran aspal yang mempunyai daya tahan dan kelenturan yang tinggi serta tahan terhadap kelelahan plastis,

Hasil persiapan dan pengujian bahan baik agregat dan aspal serta penentuan gradasi campuran *HRS-WC* menunjukkan hasil sesuai persyaratan, selanjutnya dilakukan penelitian tahap I untuk menentukan Kadar aspal optimum pada variasi gradasi agregat halus 100% pasir kali; 50% pasir kali + 50% pasir pantai dan 100% pasir pantai dengan menggunakan metoda *Marshall* serta penelitian tahap II untuk mencari nilai *Marshall* pada kondisi standar dan kepadatan mutlak untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, *density*, stabilitas, *Flow*, *MQ*, serta *IRS* standar dan pengujian perendaman modifikasi untuk menentukan nilai indeks durabilitas pertama (r , R) dan nilai indeks durabilitas kedua (S_a , S_A).

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* pada tahap I, serta dari hasil analisa, didapat variasi gradasi agregat halus 100% pasir kali kadar aspal optimum 7,1 %, variasi gradasi agregat halus 50% pasir kali + 50% pasir pantai kadar aspal optimum 6,07 %, sedangkan variasi gradasi agregat halus 100% pasir pantai kadar aspal optimum tidak didapat, karena nilai *VIM* nya terlalu rendah.

Dari hasil pengujian *Marshall* dan *IRS* tahap II, terlihat bahwa semua nilai *Marshall* terhadap lama perendaman, untuk hasil analisa *void* (*VMA*, *VFB* dan *VIM*) variasi gradasi agregat halus 100% pasir kali memenuhi persyaratan pada kepadatan standar, sedangkan pada kepadatan mutlak, nilai *VIM* pada perendaman 1/2 jam dan 72 jam tidak memenuhi persyaratan. Untuk variasi gradasi agregat halus 50% pasir kali + 50% pasir pantai memenuhi persyaratan pada kepadatan standar sedangkan pada kepadatan mutlak, nilai *VMA* pada perendaman 1/2 jam dan 24 jam tidak memenuhi persyaratan. Nilai *IRS* pada kondisi standar dan kepadatan mutlak untuk kedua variasi terhadap lama perendaman memenuhi persyaratan untuk *IRS* > 80 %. Dari hasil pengujian Perendaman Modifikasi untuk kedua variasi menghasilkan indeks durabilitas sebagai berikut : Indeks Durabilitas Pertama, mengakibatkan naiknya nilai indeks penurunan stabilitas (r dan R), baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Untuk indeks Durabilitas Kedua hasil pengujian variasi gradasi agregat halus 100% pasir kali menunjukkan bahwa indeks stabilitas sisa (S_a / S_A) pada kondisi standar perendaman 1/2 jam (100%/1305kg) turun pada perendaman 72 jam menjadi (80,45%/1037 kg) Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak perendaman 1/2 jam (100%/1449kg) turun pada perendaman 72 jam menjadi (77,3%/1158kg). Hasil pengujian variasi gradasi agregat halus 50% pasir kali + 50% pasir pantai menunjukkan bahwa (S_a / S_A) pada kondisi standar perendaman 1/2 jam (100%/1334kg) turun pada perendaman 48 jam menjadi (87,7%/1144kg) Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak perendaman 1/2 jam (100%/1656kg) turun pada perendaman 48 jam menjadi (88,8%/1382kg). Dari hasil penelitian diatas disarankan variasi gradasi agregat halus 50% pasir kali + 50% pasir pantai sebagai bahan agregat halus alternatif dengan pengawasan yang ketat pada persyaratan gradasi sesuai syarat *HRS-WC*, serta hanya dapat dipakai untuk konstruksi jalan ditingkat kabupaten, dan maksimum dapat menahan rendaman secara terus-menerus selama 48 jam.

Kata Kunci : *Density*, *Void*, *Stabilitas*, *Flow*, *MQ*, *IRS*, r , R , S_a , S_A , pasir pantai.

ABSTRACT

During economical era, many of some town/ regency which located in the region connected with coast line require development within transportation infrastructure using local material as part of coast sand deposit at Sendang Sikucing (Sikucing Source). It's wished, Sikucing Source can be used as alternative material for substitute the fine aggregate which obtained from more hidden river sand. Based on that program, it need for conduct this research with laboratory test about the influence of using coast sand from Sikucing Source at Kendal regency as substitute of fine aggregate on hot mix asphalt toward *Marshall* characteristic and durability. Mixing design which be used was design of *HRS-WC*, where those mixing constitute is the hot asphalt mixing with asymmetrical aggregate gradation, it's wished can obtain some asphalt mixing which has high resistance and flexibility and endure of plastic melting.

Preparing and testing result whether aggregate and asphalt, and the determination of *HRS-WC* mixing showed meet with any requirement, then, conducted stage I research to determinate the optimum asphalt grade fine aggregate at variance 100% of river sand; 50% river sand + 50% coast sand; and 100% coast sand, using *Marshall* method. The stage II research conducted to fine the *Marshall's* value at standard condition, and the absolute density to determine *VIM*, *VAM*, *VFA*, *density*, *stability*, *flow*, *MQ*; along with *IRS standard* and the modification submerging testing to determine first durability index value (*r*, *R*) and second durability index value (*S_a*, *S_A*).

From mixing characteristic value which resulted from stage I *Marshall* test, and from analysis result, it found that fine aggregate at variance 100% river sand, the optimum asphalt grade 7,1%; at variance 50% river sand + 50% coast sand, the optimum asphalt grade 6,07%; while at variance 100% coast sand, the optimum asphalt grade was unattained, because its too low *VIM*.

From *Marshall's* test and second stage of *IRS*, it's showed that all *Marshall's* value toward the duration of submerging, to void the result of the research (*VMA*, *VFA*, and *VIM*) the 100% variance fine aggregate of river sand fulfilling the requirement of standard density, while on the absolute density, *VIM* value at the ½ and 72 hours submerging doesn't meet due requirements. The 50% of variance fine aggregate of river sand and 50% of variance fine aggregate of coast sand fulfilling the requirement of standard density; while on the absolute density, *VIM* value at the ½ and 24 hours submerging doesn't meet the requirements. The *IRS* value at standard condition and absolute density for both the variance of submerging duration met due the requirement for *IRS* > 80%. Based from modification of submerging testing result for both variances produced durability index as follow: First Durability Index, resulting increase index value and descend stability (*r* and *R*), whether standard condition and absolute density. It caused by the longer mixing submerged, less the density of mixing. For second durability, the gradation variance of fine aggregate 100% river sand showed that remain stability index (*S_a*/ *S_A*) at ½ hours submerging standard condition (100%/ 1305kg) decrease at 72 hours submerging to (80,45%/ 1037kg). While at absolute density ½ hours submerging (100%/ 1449kg) decrease at 72 hours submerging to (77,3%/ 1158kg). The fine aggregate variance testing of 50% river sand + 50% coast sand showed that (*S_a*/ *S_A*) at submerging ½ hours standard condition (100%/ 1334kg) decrease at 48 hours submerging to (87,7%/ 1144kg), while at ½ hours absolute density (100%/ 1656kg) decrease at 48 hours submerging to (88,8%/ 1328kg). From those above research result, it's suggested that the fine aggregate gradation variance 50% river sand + 50% coast sand, as an alternative of fine aggregate material, it just can be used for construction the road at regency level, and maximal just can hold the continually submerging for 48 hours.

Keyword: *density*, *VMA*, *VFB*, *VIM*, *Stability*, *Flow*, *MQ*, *IRS*, *r*, *R*, *S_a*, *S_A*, coast sand, river sand

PRAKATA

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan petunjuk-Nya sehingga tesis dengan judul Kajian Laboratorium Sifat *Marshall* dan Durabilitas *Hot Rolled Sheet – Wearing Coarse (HRS-WC)* dengan menggunakan Agregat Halus Pasir Pantai Sendang Sikucing

Tesis ini disusun sebagai syarat menyelesaikan studi pada Program Magister Teknik Sipil Konsentrasi Transportasi Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Selama menyelesaikan tesis ini, penulis banyak menerima petunjuk, saran, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut penulis mengucapkan rasa terima kasih yang tulus kepada :

- 1) Dr. Ir. Suripin, M. Eng., selaku Ketua Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro,
- 2) Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA., selaku Sekretaris Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro,
- 3) Ir. Bambang Hariyadi, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I,
- 4) Drs. Bagus Priyatno, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II,
- 5) Dr. Ir. Sri Prabandiyani, MSc., selaku Dosen Penguji,
- 6) Ir. Muhrozi, MS., selaku Dosen Penguji,
- 7) Ir. Siti Hardiyati MT., selaku Dosen Penguji,
- 8) Para dosen dan staf Administrasi Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- 9) Pimpinan dan staf Laboratorium Teknik Sipil Akademi Teknologi Semarang,
- 10) Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.

Mudah-mudahan tesis ini berguna untuk pengembangan lebih lanjut bagi kemajuan bidang KeBina Margaan pada umumnya dan pengembangan teknologi konstruksi Jalan pada khususnya.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRAC	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Hipotesa	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Umum	6
2.2. Aspal	6
2.3. Agregat	8
2.3.1. Agregat Kasar	8
2.3.2. Agregat Halus	9
2.3.3. Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	9
2.4. Perencanaan Campuran <i>HRS-WC</i>	10
2.5. Pengujian Campuran Beraspal Panas	13
2.5.1. <i>Marshall Test</i>	13
2.5.2. Pengujian untuk mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran aspal panas	13
2.6. Penelitian yang pernah dilakukan	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1. Umum	18
3.2. Bahan Penelitian	20
3.3. Peralatan Penelitian	20
3.4. pengujian dan Persyaratan Bahan	21
3.4.1. Aspal	21
3.4.2. Agregat dan <i>Filler</i>	21
3.5. Metoda Campuran <i>HRS-WC</i>	21
3.5.1. Prosedur Perhitungan Kadar Aspal Rencana	22
3.5.2. Pengujian <i>Marshall</i>	24
3.5.3. Pengujian Perendaman Standard	26

3.5.4. Pengujian Durabilitas Modifikasi	27
3.5.5. Pengujian Analisa campuran aspal panas	28
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Hasil Pengujian Material	31
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat	31
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal	33
4.1.3. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap I	36
4.1.4. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> (2x75) tumbukan dan (2x400) tumbukan serta Uji perendaman standar dan Modifikasi pada kadar aspal Optimum dan variasi agregat halus 100% pasir kali dan 50% pasir kali + 50% pasir pantai	42
4.2. Pembahasan	46
4.2.1. Karakteristik Campuran <i>HRS-WC</i>	46
4.2.2. Evaluasi Hasil Laboratorium terhadap Karakteristik Campuran <i>HRS-WC</i> Tahap I terhadap Spesifikasi	54
4.2.3. Karakteristik <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standar dan kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman untuk variasi 100% pasir kali dan 50% pasir kali + 50% pasir pantai	56
4.2.4. Karakteristik Perendaman Modifikasi Campuran <i>HRS-WC</i> terhadap lama perendaman	71
4.2.5. Evaluasi Hasil laboratorium uji <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> dan Perendaman Modifikasi Tahap II terhadap pengaruh lama perendaman	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	82
5.1. Kesimpulan	82
5.2. Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1.	Pengujian dan Persyaratan untuk Aspal Penetrasi 60/70	8
2.2.	Pengujian dan Persyaratan untuk Agregat dan <i>Filler</i>	10
2.3.	Ketentuan sifat – sifat Campuran	11
2.4.	Gradasi Agregat untuk Campuran beraspal	12
2.5.	Contoh batas-batas Bahan bergradasi senjang	12
3.1.	Target Gradasi dengan ukuran maksimum 19 mm	22
3.2.	Jumlah Sampel Penelitian	23
4.1.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat	31
4.2.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Penetrasi 60/70 ex Pertamina	33
4.3.	Hasil test <i>Marshall</i> Campuran <i>HRS-WC</i> dengan variasi 100% pasir kali dan variasi kadar aspal pada (2 x75) tumbukan	36
4.4.	Hasil test <i>Marshall</i> Campuran <i>HRS-WC</i> dengan variasi 50% pasir kali + 50% pasir pantai dan variasi kadar aspal pada (2 x75) tumbukan	38
4.5.	Hasil test <i>Marshall</i> Campuran <i>HRS-WC</i> dengan variasi 100% pasir pantaidan variasi kadar aspal pada (2 x75) tumbukan	40
4.6.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (100% pasir kali) kondisi standard (2 x 75) tumbukan	42
4.7.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (100% pasir kali) kondisi kepadatan mutlak (2 x 400) tumbukan	43
4.8.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (50% pk + 50%pp) kondisi standard (2 x 75) tumbukan	43
4.9.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (50% pk + 50%pp) kondisi kepadatan mutlak (2 x 400) tumbukan	43
4.10.	Hasil Pengujian Perendaman standard Tahap II pada KAO (100% pk) kondisi standard (2 x 75) tumbukan	44
4.11.	Hasil Pengujian Perendaman modifikasi Tahap II pada KAO (100% pk) kondisi standard (2 x 75) tumbukan	44
4.12.	Hasil Pengujian Perendaman standard Tahap II pada KAO (100% pk) kondisi kepadatan mutlak (2 x 400) tumbukan	44
4.13.	Hasil Pengujian Perendaman modifikasi Tahap II pada KAO (100% pk) kondisi kepadatan mutlak (2 x 400) tumbukan	44
4.14.	Hasil Pengujian Perendaman standar Tahap II pada KAO (50% pk+50%pp) kondisi standard (2 x 75) tumbukan	45

4.15.	Hasil Pengujian Perendaman modifikasi Tahap II pada KAO (50%pk+50%pp) kondisi standard (2 x 75) tumbukan	45
4.16.	Hasil Pengujian Perendaman standard Tahap II pada KAO (50% pk+50% pp) kondisi kepadatan mutlak (2 x 400) tumbukan	45
4.17.	Hasil Pengujian Perendaman modifikasi Tahap II pada KAO (50%pk+50%pp) kondisi kepadatan mutlak (2 x 400) tumbukan	45
4.18.	Kadar aspal terhadap nilai <i>Density</i>	46
4.19.	Kadar aspal terhadap nilai <i>VMA</i>	47
4.20.	Kadar aspal terhadap nilai <i>VFB</i>	49
4.21.	Kadar aspal terhadap nilai <i>VIM</i>	50
4.22.	Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas	51
4.23.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Flow</i>	52
4.24.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Marshall Quotient</i>	53
4.25.	Pengaruh nilai <i>density</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	56
4.26.	Pengaruh nilai <i>density</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	56
1.27.	Pengaruh nilai <i>VMA</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	58
4.28.	Pengaruh nilai <i>VMA</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	58
4.29.	Pengaruh nilai <i>VFB</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	59
4.30.	Pengaruh nilai <i>VFB</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	60
4.31.	Pengaruh nilai <i>VIM</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	61
4.32.	Pengaruh nilai <i>VIM</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	62
4.33.	Pengaruh nilai Stabilitas terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	63
4.34.	Pengaruh nilai Stabilitas terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan Mutlak (2x400)	63
4.35.	Pengaruh nilai <i>Flow</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	65
4.36.	Pengaruh nilai <i>Flow</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	65
4.37.	Pengaruh nilai <i>MQ</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	67

4.38.	Pengaruh nilai <i>MQ</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	67
4.39.	Pengaruh nilai <i>IRS</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	69
4.40.	Pengaruh nilai <i>IRS</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	69
4.41.	Pengaruh nilai <i>r</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	71
4.42.	Pengaruh nilai <i>r</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	71
4.43.	Pengaruh nilai <i>R</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	72
4.44.	Pengaruh nilai <i>R</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	72
4.45.	Pengaruh nilai <i>Sa</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	74
4.46.	Pengaruh nilai <i>Sa</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	74
4.47.	Pengaruh nilai <i>S_A</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)	75
4.48.	Pengaruh nilai <i>S_A</i> terhadap lama perendaman pada kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	75
4.49.	Pengaruh Lama Perendaman terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400) untuk variasi gradasi 100% pasir kali	77
4.50.	Pengaruh Lama Perendaman terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400) untuk variasi gradasi 50% pk + 50% pp	77

DAFTAR GAMBAR

3.1.	Bagan Alir Penelitian Pelaksanaan Penelitian	19
3.2.	Target Gradasi Campuran Ukuran maksimum 19 mm Lataston (<i>HRS-WC</i>)	22
3.3.	Gambaran Skema Kurva Keawetan	28
4.1.	Hasil test <i>Marshall</i> Campuran <i>HRS-WC</i> dengan menggunakan 100% pk dan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan	37
4.2.	Hasil test <i>Marshall</i> Campuran <i>HRS-WC</i> dengan menggunakan 50% pk + 50% pp dan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan	39
4.3.	Hasil test <i>Marshall</i> Campuran <i>HRS-WC</i> dengan menggunakan 100% pp dan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan	41
4.4.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>Density</i>	46
4.5.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>VMA</i>	48
4.6.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>VFB</i>	49
4.7.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>VIM</i>	50
4.8.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas	51
4.9.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan Kelelehan	52
4.10.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>Marshall Quotient</i>	54
4.11.	Grafik hubungan nilai <i>density</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	56
4.12.	Grafik hubungan nilai <i>VMA</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	58
4.13.	Grafik hubungan nilai <i>VFB</i> terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	60

4.14.	Grafik hubungan nilai VIM terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	62
4.15.	Grafik hubungan nilai stabilitas terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	64
4.16.	Grafik hubungan nilai $Flow$ terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	66
4.17.	Grafik hubungan nilai MQ terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	68
4.18.	Grafik hubungan nilai IRS terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	70
4.19.	Grafik hubungan nilai (r) terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	72
4.20.	Grafik hubungan nilai (R) terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	72
4.21.	Grafik hubungan nilai (Sa) terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	74
4.22.	Grafik hubungan nilai (S_d) terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1	Sertifikat Kalibrasi	87
Lampiran A.2	Rasio Korelasi Stabilitas	88
Lampiran B.1	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	89
Lampiran B.2.	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	90
Lampiran B.3	Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Debu batu, Pemeriksaan Indek Kepipihan	91
Lampiran B.4	Pemeriksaan Keausan agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> Kelekatan Agregat terhadap Aspal, <i>Sand Equivalent</i>	92
Lampiran B.5	Pemeriksaan <i>Soundness</i>	93
Lampiran C.1	Laporan Pengujian Aspal Keras jenis Pertamina Penetrasi 60/70	94
Lampiran C.2	Pengujian Penetrasi Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	95
Lampiran C.3	Pemeriksaan Titik Lembek Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	96
Lampiran C.4	Pengujian Daktilitas Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	97
Lampiran C.5	Pengujian Kelarutan dalam CCL ₄	98
Lampiran C.6	Pengujian Titik Nyala Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	99
Lampiran C.7	Pengujian Berat Jenis Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	100
Lampiran C.8	Pengujian Kehilangan Berat Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	101
Lampiran C.9	Pengujian Penetrasi setelah Kehilangan Berat	102
Lampiran C.10	Pengujian Daktilitas setelah Kehilangan Berat	103
Lampiran D.1	Perhitungan Bahan Susun Benda Uji <i>Marshall test</i> campuran Aspal Lataston <i>HRS – WC</i> (100% pasir kali)	104
Lampiran D.2	Perhitungan pengujian <i>Marshall</i> Tahap I (100% pasir kali)	105
Lampiran D.3	Perhitungan Bahan Susun Benda Uji <i>Marshall test</i> campuran Aspal Lataston <i>HRS – WC</i> ((50% psr kali + 50% psr pantai)	106
Lampiran D.4	Perhitungan pengujian <i>Marshall</i> Tahap I (50% pk+50% pp)	107
Lampiran D.5	Perhitungan Bahan Susun Benda Uji <i>Marshall test</i> campuran Aspal Lataston <i>HRS – WC</i> (100% pasir pantai)	108
Lampiran D.6	Perhitungan pengujian <i>Marshall</i> Tahap I (100% pasir pantai)	109
Lampiran E.1	Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (100% pasir kali/ <i>Dry</i> (2x75) tumbukan dengan masa rendaman	110
Lampiran E.2	Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (100% pasir kali)/ <i>Soaked</i> (2x75) tumbukan dengan masa rendaman	111

Lampiran E.3	Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (50 pk + 50% pp)/ <i>Dry</i> (2x75) tumbukan dengan masa rendaman	112
Lampiran E.4	Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (50 pk + 50% pp)/ <i>Soaked</i> (2x75) tumbukan dengan masa rendaman	113
Lampiran E.5	Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (100% pasir kali/ <i>Dry</i> (2x400) tumbukan dengan masa rendaman	114
Lampiran E.6	Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (100% pasir kali)/ <i>Soaked</i> (2x400) tumbukan dengan masa rendaman	115
Lampiran E.7	Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (50 pk + 50% pp)/ <i>Dry</i> (2x400) tumbukan dengan masa rendaman	116
Lampiran E.8	Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada KAO (50 pk + 50% pp)/ <i>Soaked</i> (2x75) tumbukan dengan masa rendaman	117

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	= <i>Assosiation of American Society Highway Transport Organization</i>
<i>HRS-WC</i>	= <i>Hot Rolled Sheet – Wearing Course</i>
<i>ASTM</i>	= <i>American Society for Testing and Material</i>
<i>BS</i>	= <i>British Standards Institution</i>
<i>Gsb</i>	= Berat jenis kering/ <i>bulk spesific gravity</i> (gr/cc)
<i>Gsa</i>	= Berat jenis semu/ <i>apparent spesific gravity</i> (gr/cc)
<i>Gse</i>	= Berat jenis efektif/ <i>bulk spesific gravity SSD</i> (gr/cc)
<i>Gsb_{tot} agregat</i>	= Berat jenis kering agregat gabungan (gr/cc)
<i>P₁, P₂, P₃, ...</i>	= Prosentase berat dari masing-masing agregat
<i>Gsb₁, Gsb₂, Gsb₃, ...Gsb_n</i>	= Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3..n
<i>Gsa_{tot} agregat</i>	= Berat jenis semu agregat gabungan
<i>Gsa₁, Gsa₂, Gsa₃, ...Gsa_n</i>	= Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1,2,3..n
<i>Gse_{tot} agregat</i>	= berat jenis efektif agregat gabungan
<i>Gse₁, Gse₂, Gse₃, ...Gse_n</i>	= Berat jenis efektif dari masing-masing agregat 1,2,3..n
<i>V_{bulk}</i>	= Volume campuran setelah pemadatan (cc)
<i>W_{SSD}</i>	= Berat dalam kondisi kering permukaan (gr)
<i>W_w</i>	= Berat dalam air (gr)
<i>Gmb</i>	= Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
<i>Gmm</i>	= Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
<i>P_b</i>	= Prosentase kadar aspal terhadap total campuran (%)
<i>P_{ba}</i>	= Penyerapan aspal, persen total agregat (%)
<i>P_{be}</i>	= Kadar aspal efektif, persentotal campuran (%)
<i>P_f</i>	= Prosentase kadar <i>Filler</i> terhadap total campuran (%)
<i>Ps</i>	= Kadar agregat, persen total campuran (%)
<i>Puslitbang</i>	= Pusat Penelitian dan Pengembangan
<i>G_b</i>	= Berat jenis aspal (gr/cc)
<i>VIM</i>	= <i>Void In the Mix</i> / Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total

<i>VMA</i>	= <i>Void in the Mineral Aggregate</i> Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total
<i>VFB</i>	= <i>Void Filled with Bitumen</i> / Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>MS</i>	= <i>Marshall Stability</i>
<i>MF</i>	= Kelelahan <i>Marshall</i>
<i>IRS</i>	= Indeks Stabilitas Sisa
<i>Msi</i>	= Stabilitas <i>Marshall</i> setelah perendaman 24 jam pada temperatur 60°C
<i>MSs</i>	= Stabilitas <i>Marshall</i> standar pada perendaman selama 30-40 menit pada temperatur 60°C
<i>SNI</i>	= Standar Nasional Indonesia
<i>Superpave</i>	= <i>Superior Performing Asphalt Pavement</i>
<i>pk</i>	= pasir kali
<i>pp</i>	= pasir pantai

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan prasarana transportasi jalan raya saat ini sangat dirasakan, seiring dengan perkembangan jasa transportasi yang dipengaruhi oleh meningkatnya perkembangan pembangunan. Sebagai akibat adanya kebutuhan pergerakan manusia dan barang, timbul tuntutan untuk menyediakan prasarana dan sarana agar pergerakan tersebut dalam kondisi aman, nyaman, lancar serta ekonomis.

Pembinaan jalan yang hasilnya dapat memenuhi tuntutan masyarakat pengguna jalan bukanlah pekerjaan yang mudah, lebih – lebih pada saat kondisi anggaran terbatas serta beban kendaraan yang cenderung jauh melampaui batas dan kondisi cuaca yang kurang bersahabat. Disamping itu, makin meningkatnya kesadaran masyarakat untuk menyampaikan tuntutannya atas penyediaan prasarana jalan merupakan tantangan yang perlu mendapat perhatian dari pihak – pihak yang terkait dalam pembinaan jalan. Aspek – aspek tersebut merupakan kenyataan yang tidak bisa dihindari dan perlu dijadikan pendorong untuk mencari upaya – upaya yang dapat meningkatkan pembinaan jalan secara efektif dan efisien, baik pada pembangunan jalan baru maupun pada pelaksanaan pemeliharaan / peningkatan jalan yang ada.

Pada saat menggunakan jalan, tuntutan pengguna jalan adalah kenyamanan, keselamatan dan kecepatan yang akhirnya aspek – aspek tersebut ditunjukkan dengan biaya perjalanan yang murah. Untuk memenuhi tuntutan masyarakat pengguna jalan maka perkerasan harus memenuhi persyaratan kondisi fungsional dan struktural. Persyaratan kondisi fungsional menyangkut kerataan dan kekesatan permukaan perkerasan, sedangkan persyaratan kondisi struktural menyangkut kemampuan (dinyatakan dalam satuan waktu dan jumlah lalu lintas) dalam mempertahankan kondisi fungsionalnya pada tingkat yang layak. Kondisi struktural ditunjukkan oleh kekuatan atau daya dukung perkerasan yang biasanya dinyatakan dalam nilai struktural atau lendutan.

Beberapa Kota/Kabupaten yang terletak di daerah yang berhubungan dengan garis pantai dalam era otonomi, banyak yang menghendaki dalam pembangunan prasarana transportasi jalan raya menggunakan bahan – bahan lokal sebagai bagian dari Pendapatan Daerah. Khususnya Kabupaten Kendal yang mempunyai deposit kandungan pasir pantai yang cukup besar didaerah Sendang Sikucing. Diharapkan pasir pantai Sendang Sikucing

dapat menjadi bahan alternatif pengganti agregat halus yang biasanya menggunakan pasir kali yang keberadaannya makin sulit dan harganya menjadi sangat mahal.

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian dengan uji laboratorium tentang penggunaan pasir laut dari Sendang Sikucing di Kabupaten Kendal sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal panas terhadap sifat *Marshall* dan Durabilitas. Desain campuran yang dipakai adalah desain untuk jenis campuran Lataston Lapis Aus atau dikenal dengan istilah *Hot Rolled Shet Wearing Coarse (HRS-WC)* yang mengacu pada Spesifikasi Beton Aspal Campuran Panas Tahun 2001, dimana campuran Lataston merupakan campuran aspal panas dengan menggunakan gradasi agregat senjang, atau dengan kata lain meniadakan ukuran tertentu dari urutan gradasi agregat dengan harapan mendapatkan suatu campuran aspal yang mempunyai daya tahan dan kelenturan yang tinggi serta tahan terhadap kelelahan plastis, namun karena bergradasi senjang dan volume aspalnya yang tinggi menjadikan rentan terhadap deformasi plastis.

1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud untuk mengetahui / mendapatkan beberapa hal, antara lain :

- a. Mengetahui perilaku campuran *HRS-WC* terhadap sifat-sifat *Marshall*, *Void in the Mineral Aggregate (VMA)*, *Void in the Mix (VIM)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)*, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient (MQ)*, dan *Index of Retained Strength (IRS)* serta pengaruh variasi lama perendaman (1/2 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam) pada Uji Durabilitas Modifikasi, menggunakan bahan alternatif 50% dan 100% pasir pantai Sendang Sikucing sebagai pengganti faksi agregat halus dari pasir kali.
- b. Membandingkan sifat-sifat *Marshall*, *Void in the Mineral Aggregate (VMA)*, *Void in the Mix (VIM)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)*, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient (MQ)*, dan *Index of Retained Strength (IRS)* dan pengaruh variasi lama perendaman (1/2 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam) pada Uji Durabilitas Modifikasi dengan pasir kali sebagai agregat halus standard dibandingkan dengan 50% dan 100% pasir pantai, menggunakan syarat Spesifikasi Baru Beton aspal campuran panas untuk jenis *HRS-WC*.

- c. Untuk mengetahui apakah 50% dan 100% pasir pantai Sendang Sikucing bisa digunakan sebagai agregat halus campuran *HRS-WC*.

Tujuan dari penelitian ini :

Mempelajari pengaruh penggunaan bahan 50% dan 100% pasir pantai sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal panas (*HRS-WC*) terhadap sifat-sifat *Marshall*, *Void in the Mineral Aggregate (VMA)*, *Void in the Mix (VIM)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)*, *Stabilitas*, *Flow*, *Marshall Quotient (MQ)*, dan *Index of Retained Strength (IRS)* serta pengaruh variasi lama perendaman (1/2 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam) pada Uji Durabilitas Modifikasi.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada pembina jalan dan semua pihak yang terkait dengan pekerjaan campuran aspal panas, terutama tentang pengaruh penggantian fraksi agregat halus dari pasir kali dengan 50% dan 100% pasir pantai Sendang Sikucing terhadap daya tahan dan keawetan *HRS-WC*, baik itu unsur perencanaan, pelaksana maupun pengawas. Khusus untuk perencanaan, diharapkan untuk memasukkan pada spesifikasi khusus unsur-unsur yang bersifat khusus apabila dipakai bahan alternatif untuk menggantikan bahan standard pada desain perkerasan konstruksi jalan.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini perlu dibatasi agar dapat dilakukan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Adapun lingkup penelitian ini terbatas pada :

1. Sumber bahan baku campuran beton aspal yang dipakai pada penelitian ini terdiri dari :
 - a. Aspal keras penetrasi 60/70 produksi PERTAMINA
 - b. Agregat (kasar, halus dan abu batu) dari Kali Kuto Batang.
 - c. Agregat halus Pengganti dari Pasir Pantai Sendang Sikucing
2. Perencanaan campuran menggunakan perencanaan campuran untuk lapis permukaan *HRS-WC* dengan gradasi senjang yang mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Agustus 2001.

3. Variasi agregat halus yang direncanakan merupakan penggabungan antara agregat halus asal pasir kali dan agregat halus asal pasir pantai berdasarkan proporsi dengan ukuran berat masing-masing, yaitu :
 - a. 100 % pasir kali
 - b. 50 % pasir kali + 50 % pasir pantai
 - c. 100 % pasir pantai.
4. Uji yang dilakukan adalah *Marshall Test* dan *Uji Marshall Immersion Test*.
5. Sifat kimia, kadar garam dan kandungan organik pasir pantai Sendang Sikucing tidak ditinjau dan diuji, cukup dipanaskan pada suhu 163°C .

1.5. Hipotesa

HRS-WC sebagai lapis perkerasan bergradasi senjang, karakteristiknya akan dipengaruhi oleh komposisi, jenis dan bentuk agregatnya, terutama pada agregat halusnya. Dimana telah kita ketahui bersama deposit pasir dari batu gunung maupun sungai semakin langka, untuk itu diperlukan bahan alternatif sebagai pengganti pasir kali, yaitu pasir pantai. Adapun hipotesa dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Campuran *HRS WC* menggunakan bahan alternatif 50% dan 100% pasir pantai Sendang Sikucing dapat digunakan sebagai pengganti fraksi agregat halus dari pasir kali. Pengujian dilakukan dengan cara uji dan analisa rongga (*VMA*, *VIM*, *VFA*), dan uji fisik benda uji (stabilitas, *flow*, *MQ*, uji perendaman standar/*IRS*), Durabilitas non standar (modifikasi) pada variasi lama perendaman (1/2 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam) dengan menggunakan gradasi yang sama dengan pasir kali sebagai standard, diharapkan pemakaian bahan 50% dan 100% pasir pantai dapat dipakai untuk Campuran *HRS-WC*.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan tesis yang akan dilakukan terdiri dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, analisa dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

1. Bab I : Pendahuluan

Merupakan awal dari penyusunan tesis, dalam bab ini dikemukakan arah judul tesis. Bab ini berisi latar belakang yang hendak dibahas, tujuan, manfaat, kegunaan serta waktu penelitian.

2. Bab II : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi mengenai teori – teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan dari penelitian, serta syarat – syarat untuk melaksanakan penelitian. Dalam bab ini hasil tinjauan pustaka dikemukakan secara sistematis dan kronologis.

3. Bab III : Metodologi Penelitian

Dalam bab ini dituliskan mengenai tahapan dan cara penelitian serta uraian mengenai pelaksanaan penelitian. Bab ini berisi uraian tentang data dan metode yang akan digunakan dalam penelitian maupun penyelidikan serta hipotesa yang diajukan dan ingin diuji.

4. Bab IV : Analisa Data dan Pembahasan

Bab ini berisi mengenai hasil – hasil penelitian dan juga berisi tentang analisa dari hasil penelitian tersebut serta pembahasannya. Hasil ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, tabel dengan keterangan atau judul yang jelas. Hasil yang ditulis dalam kesimpulan harus terlebih dahulu muncul dalam bagian pembahasan ini. Bab ini merupakan bagian yang sangat penting dari keseluruhan penelitian.

5. Bab V : Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan – kesimpulan terutama setelah dilakukan analisa dan pembahasan. Kesimpulan dinyatakan secara khusus dan menjawab semua permasalahan yang diteliti atau diamati. Kesimpulan merupakan rangkuman hasil – hasil yang berasal dari bab pembahasan secara rinci. Kemudian dalam bab ini juga berisi mengenai saran atau rekomendasi yang didasarkan pada hasil penelitian dan penilaian menurut pendapat serta pemikiran peneliti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam beberapa tahun terakhir ini, *Hot Rolled Sheet* telah digunakan secara luas di Indonesia sebagai lapisan permukaan, karena sifatnya yang kedap air dan tingkat keawetan yang tinggi. Sifat – sifat penting *Hot Rolled Sheet* adalah agregatnya bergradasi senjang dan mengandung sangat sedikit agregat yang berukuran kasar. Sebagai konsekuensi campuran tersebut dapat menyerap kadar aspal yang relatif tinggi dan dapat memberikan suatu permukaan yang sanggup menerima beban berat tanpa mengalami retak.

Rancangan campuran perkerasan aspal meliputi pemilihan jenis aspal, pemilihan material agregat yang sesuai dengan jenis konstruksi perkerasan, dan penentuan proporsi optimum agregat dan aspal didalam campuran. Kemampuan perkerasan lentur untuk menahan kerusakan adalah sangat tergantung pada keawetan lapisan aspal tersebut. Air adalah salah satu dari banyak faktor yang mempengaruhi keawetan dari suatu campuran aspal; air dapat mengurangi ikatan antara aspal dan agregat dan berakibat hilangnya agregat dari permukaan. Sehingga kemampuan lapisan untuk menahan beban juga akan terpengaruh. Menurut Ishai (1977), keawetan campuran perkerasan aspal sebagian besar dipengaruhi oleh terjamin dan terpeliharanya ikatan antar aspal dan agregat akibat masuknya air.

2.2 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan kental ataupun padat yang secara esensial terdiri dari senyawa hidrokarbon dan turunannya, yang terlarut dalam *trichloroethylene*, tidak mudah berubah dan melunak secara perlahan ketika dipanaskan, memiliki warna hitam atau coklat, memiliki sifat kedap air dan sifat *visco-elastis* serta memiliki ciri yang beragam mulai dari yang bersifat lekat sampai yang bersifat elastis. Diantara sifat aspal lainnya adalah:

- a. Aspal mempunyai sifat *Rheologic* (mekanis), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat, sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).

- b. Aspal adalah bahan yang *Thermoplastis*, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer, demikian pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Namun pemanasan yang berlebihan terhadap aspal akan merusak molekul-molekul dari aspal, misalnya aspal menjadi getas dan rapuh.
- c. Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan-regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.

Aspal diperoleh melalui proses destilasi dari minyak mentah dan bisa ditemukan dalam bentuk deposit alami atau dalam suatu komponen alami yang menyimpan aspal dan tercampur dengan mineral lainnya. Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa – senyawa kompleks seperti *Asphaltenese*, *Resins* dan *Oils* (Hunter RN. 1984).

Meskipun aspal hanya merupakan bagian kecil dari komponen campuran beraspal, namun merupakan bagian krusial untuk menyediakan ikatan yang durabel (awet/tahan lama) dan menjaga campuran tetap dalam kondisi kental yang elastis. Adapun beberapa kualitas yang harus dimiliki oleh aspal untuk menjamin performa yang memuaskan, secara mendasar adalah *rheology*, kohesi, adhesi dan durabilitas. Krebs dan Walker (1971) menerangkan, dalam pemilihan jenis aspal sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah digunakan untuk daerah yang beriklim panas dalam rangka menghindari *softening* ataupun *bleeding*. Di sisi lain, aspal dengan indeks penetrasi yang tinggi dapat digunakan pada daerah beriklim dingin, dalam upaya mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*).

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran (Crauss, J et al, 1981). Jenis pengujian dan persyaratan untuk aspal seperti yang tercantum dalam Tabel. 2.1.

Tabel. 2.1. Pengujian dan persyaratan untuk aspal penetrasi 60/70

No.	Sifat-sifat	Pen 60/70		Satuan
		Min.	Maks.	
1.	Penetrasi (25 ^o C, 100 gr, 5 detik)	60	79	0,1 mm
2.	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	48	58	^o C
3.	Titik nyala (<i>Cleveland open cup</i>)	200	0	^o C
4.	Kehilangan berat (163 ^o C, 5 jam)	-	0,4	% berat
5.	Kelarutan (C ₂ HCL ₃)	99	-	% berat
6.	Daktilitas (25 ^o C, 5 cm/menit)	100	-	Cm
7.	Pen setelah kehilangan berat	54	-	% asli
8.	Daktilitas setelah kehilangan berat	50	-	Cm
9.	Berat jenis (25 ^o C)	1	-	gr/cm ³

Sumber : Spesifikasi Teknik Bina Marga, P3TN (1993)

2.3 Agregat

Agregat adalah suatu kombinasi dari pasir, kerikil, batu pecah atau kombinasi material lain yang digunakan dalam campuran aspal beton. Proporsi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) didasarkan kepada spesifikasi dan gradasi yang tersedia.

Jumlah agregat di dalam campuran aspal biasanya 90 sampai 95 persen dari berat, atau 75 sampai 85 persen dari volume. Di dalam *Hot Rolled Sheet*, agregat kasar digunakan untuk pengembang volume mortar sehingga campuran menjadi lebih ekonomis, juga untuk mendukung beban lalu lintas.

Agregat dapat diperoleh secara alami atau buatan. Agregat yang terjadi secara alami adalah pasir, kerikil, dan batu. Kebanyakan agregat memerlukan beberapa proses seperti dipecah, dicuci sebelum agregat tersebut bisa digunakan dalam campuran aspal.

2.3.1. Agregat Kasar

Agregat kasar biasanya didefinisikan sebagai material yang pada prinsipnya tertahan pada saringan 2.36 mm, yang setara dengan saringan No. 8 menurut Standar *ASTM* atau saringan No. 7 menurut *Standar British*. Fungsi Agregat kasar dalam campuran *Hot Rolled Sheet* adalah untuk mengembangkan volume mortar dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan.

2.3.2. Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir kali maupun pasir pantai, batu pecah atau kombinasi dari keduanya. Agregat halus adalah material yang pada prinsipnya lewat saringan 2.36 mm dan tertahan pada saringan 75 μ m atau saringan No. 200. Penggunaan gabungan agregat halus dari pasir kali + pasir pantai menurut penelitian yang ada sebaiknya menggunakan perbandingan porsi (100% pasir kali), (50% pasir kali+ 50% pasir pantai, dan 100% pasir pantai, mengingat penyerapan air, berat jenis, *sand equivalent*, gradasi maupun *density* antara pasir kali dan pasir pantai, tidak terlalu jauh perbedaannya,

Fungsi utama dari agregat halus adalah untuk mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan dan gesekan dari partikel. Berkenaan dengan hal ini, agregat halus harus memiliki kekuatan dan kekerasan yang cukup dan mempunyai sudut, mempunyai bidang pecah permukaannya, bersih dan bukan bahan organik. Dalam konstruksi *Hot Rolled Sheet* komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar, oleh karena itu agregat halus sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan.

2.3.3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*Filler*) adalah agregat yang lewat saringan No. 200 dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, Portland semen dan abu batu.

Fungsi dari bahan pengisi (*filler*) adalah untuk meningkatkan viskositas aspal dan untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur.

Sebagian dari mineral debu ini terkandung pada fraksi agregat kasar dan agregat halus. Hasil penelitian pada umumnya menunjukkan bahwa meningkatnya jumlah bahan pengisi (*filler*) cenderung akan meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara dalam campuran. Bagaimanapun peningkatan kandungan bahan pengisi (*filler*) harus dibatasi ; terlalu banyak kandungan bahan pengisi (*filler*) cenderung menghasilkan campuran yang getas dan mudah retak akibat beban lalu lintas. Dilain pihak, kandungan bahan pengisi (*filler*) yang terlalu rendah akan menghasilkan campuran yang terlalu lunak pada cuaca panas. Jumlah *filler* ideal sebesar antara 0,6 sampai 1,2 yaitu perbandingan antara prosentase *filler* dengan prosentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*.

Jenis pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler* tercantum dalam Tabel. 2.2.

Tabel. 2.2. Pengujian dan persyaratan untuk *agregat* dan *filler*.

No.	Pengujian	Metoda	Syarat
Agregat kasar			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$
2	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Keausan / Los angeles abrasion test	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$
4	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	$\geq 95\%$
5	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D-4791	Maks 10%
Agregat halus			
1	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$
2	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Ekivalen pasir	AASHTO T-176	$\geq 50\%$
Filler			
1	Berat jenis	SNI 15-2531-1990	$\geq 1 \text{ gr/cc}$

Sumber : Spesifikasi Teknik Bina Marga, P3TN (1993)

2.4 Perencanaan Campuran *HRS-WC*

AASHTO (1993) menyatakan bahwa secara keseluruhan tujuan perencanaan campuran perkerasan aspal adalah untuk menentukan suatu campuran dengan biaya yang murah dengan gradasi agregat-aspal yang menghasilkan suatu campuran yang mempunyai:

- Kadar aspal yang cukup untuk menjamin suatu perkerasan yang tahan lama.
- Stabilitas campuran yang cukup untuk menahan beban lalu lintas tanpa terjadi distorsi atau pergerakan.
- Rongga yang cukup di dalam total campuran yang dipadatkan untuk memberikan ruang akibat penambahan pemadatan beban lalu lintas dan pengembangan aspal akibat meningkatnya temperatur tanpa terjadi *bleeding* dan kehilangan stabilitas.
- Kadar rongga udara yang maksimum untuk membatasi permeabilitas udara yang berbahaya dan masuknya air ke dalam campuran.
- Kemudahan mengerjakannya yang cukup sehingga memperoleh penghamparan campuran yang efisien tanpa terjadinya segregasi dan tanpa mengorbankan stabilitas dan tingkah lakunya.

Susunan dan kekerasan agregat yang cocok akan memberikan ketahanan terhadap slip yang cukup pada kondisi cuaca yang baik.

Sifat – sifat khas yang paling penting dari *Hot Rolled Sheet* adalah bahwa agregatnya bergradasi senjang. Sifatnya ini yang memberikan lapis aus *Hot Rolled Sheet* yang tahan cuaca dan memberikan permukaan yang awet yang dapat menerima beban berat tanpa retak.

Pada tahun 2001 Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah mengeluarkan Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas. Spesifikasi ini mengikuti trend

perkembangan metoda perencanaan campuran beraspal yang berorientasi pada kinerja. Penyempurnaan spesifikasi campuran beraspal, terutama diarahkan untuk mengantisipasi kerusakan berupa deformasi plastis. Walaupun demikian upaya tersebut dilakukan dengan tidak mengorbankan keawetan dan ketahanan campuran terhadap fatig. Salah satu jenis campuran yang dirangkum dalam spesifikasi baru tersebut adalah *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. Ketentuan sifat-sifat campuran dan gradasi agregat untuk campuran aspal Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4

Tabel 2.3. Ketentuan Sifat-sifat Campuran

SIFAT-SIFAT CAMPURAN				LATASIR	LASTASTON		LASTON			
				KELAS A & B	WC	BASE	WC	BC	BASE	
PENYERAPAN KADAR ASPAL			MAX.	2,0	1,2 UNTUK LALU LINTAS > 1.000.000 ESA 1,7 UNTUK LALU LINTAS < 1.000.000 ESA					
JUMLAH TUMBUKAN PER BIDANG				50	75				112	
RONGGA DALAM CAMPURAN (%)	LALU LINTAS (LL) > 1 JUTA ESA	MIN.	TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	-		4,9				
		MAX.		-		5,9				
	> 0,5 JUTA ESA & < 1 JUTA ESA	MIN.		4,0		3,9				
		MAX.		6,0		4,9				
	LALU LINTAS (LL) < 0,5 JUTA ESA	MIN.		3,0			3,0			
		MAX.		6,0			5,0			
RONGGA DALAM AGGREGATE (VMA) (%)			MIN.	2,0	18	17	15	14	13	
RONGGA TERISI ASPAL (%)	LALU LINTAS (LL) > 1 JUTA ESA	MIN.	TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	65		65	63	60		
	> 0,5 JUTA ESA & < 1 JUTA ESA	MIN.		68						
	LALU LINTAS (LL) < 0,5 JUTA ESA	MIN.		75				73		
STABILITAS MARSHALL (Kg)			MIN.	200	800				800	
			MAX.	850	-				-	
KEKELEHAN (mm)			MIN.	2	2				2	
			MAX.	3	-				-	
MARSHALL QUOTIENT (Kg/mm)			MIN	80	200				200	
STABILITAS MARSHALL SISA SETELAH PERENDAMAN SELAMA 24 JAM – 60° C			MIN	85 UNTUK LALU LINTAS > 1.000.000 ESA 80 UNTUK LALU LINTAS < 1.000.000 ESA						
PEMADATAN DENGAN KEPADATAN MUTLAK :										
JUMLAH TUMBUKAN MARSHALL 2 x TIAP PERMUKAAN				TIDAK D'GUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	400				600	
RONGGA DALAM CAMPURAN (%) PADA KEPADATAN MEMBAL (REFUSAL)	LALU LINTAS (LL) > 1 JUTA ESA	MIN.	-		2,5					
		MAX.	-		2,5					
	> 0,5 JUTA ESA & < 1 JUTA ESA	MIN.	2							
		MAX.	2							
LALU LINTAS (LL) < 0,5 JUTA ESA			1							

Catatan :

1. Modifikasi Marshall.
2. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), penumbuk bergetar (*Vibratory hammer*) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbuk manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 in dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch.
3. Untuk lalu lintas yang sangat lambat atau lajur padat, gunakan *ESA* yang lebih tinggi.
4. Berat jenis efektif agregat akan dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (*Gmm Test, AASHTO T-209*).
5. Direksi Pekerjaan dapat menyetujui prosedur pengujian *AASHTO T283* sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air. Pengkondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Standar minimum untuk diterimanya prosedur T283 harus 80% Kuat Tarik Sisa.

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, (2001).

Tabel 2.4 : Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos						
		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5							100
1"	25						100	90 – 100
3/4"	19	100	100	100	100	100	90 – 100	Maks 90
1/2"	12,5			90 – 100	90 – 100	90 – 100	Maks 90	
3/8"	9,5	90 – 100		77 – 85	65 – 100	Maks 90		
No. 8	2,36		75 – 100	50 – 72 ¹	35 – 55 ¹	28 – 58	23 – 39	19 – 45
No. 16	1,18							
No. 30	0,600			35 – 60	15 – 35			
No. 200	0,075	10 – 15	8 – 13	6 – 12	2 – 9	4 – 10	4 – 8	3 – 7
Daerah Larangan								
No. 4	4,75					-	-	39,5
No. 8	2,36					39,1	34,6	26,8-30,8
No. 16	1,18					25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-30,8
No. 30	0,600					19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6
No. 50	0,300					15,5	13,7	11,4

Catatan :

1. Untuk *HRS-WC* dan *HRS-Base*, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No. 8 (2,36 mm) harus juga lolos No. 30 (0,600 mm). Lihat contoh batas – batas "bahan bergradasi senjang" yang lolos ayakan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan ayakan No. 30 (0,600 mm) dalam Tabel 2.5.
2. Untuk *AC*, digunakan titik kontrol gradasi agregat, berfungsi sebagai batas – batas rentang utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas – batas gradasi ditentukan pada ayakan ukuran nominal maksimum, ayakan menengah (2,36 mm) dan ayakan terkecil 90,75 mm).

Tabel 2.5: Contoh batas-batas "Bahan bergradasi senjang"

% lolos No. 8	40	50	60	70
% lolos No. 30	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, (2001)

2.5 Pengujian Campuran Beraspal Panas

2.5.1. *Marshall Test*

Konsep *Marshall Test* dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur perkerasan pada *Mississippi State Highway*. Pada tahun 1948 *US Corps of Engineering* meningkatkan dan menambahkan beberapa kriteria pada prosedur tesnya, terutama kriteria rancangan campuran. Sejak itu tes ini banyak diadopsi oleh berbagai organisasi dan pemerintahan di banyak negara, dengan beberapa modifikasi prosedur ataupun interpretasi terhadap hasilnya.

Parameter penting yang ditentukan pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat dipikul briket sample sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan jumlah akumulasi deformasi briket sample sebelum hancur yang disebut *Marshall Flow*. Dan juga turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall Stability* dengan *Marshall Flow* disebut sebagai *Marshall Quotient*, yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*pseudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (*Shell, 1990*). Parameter lainnya yang penting dalam metoda *Marshall* adalah analisis *Void* yang terdiri dari *Density*, *Void In the Mix (VIM)*, *Void in Mineral Agregate (VMA)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)* yang dilaksanakan pada kondisi standard (2 x 75) tumbukan dan pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) tumbukan

2.5.2. Pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keawetan/Durabilitas terhadap Campuran Aspal Panas.

Potensi keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan kombinasi akibat air dan suhu (*CRAUS, J. et al, 1981*).

Rendahnya keawetan lapisan permukaan dan lapisan aspal adalah merupakan salah satu penyebab utama rusak dan gagalnya pelayanan jalan perkerasan fleksibel. Tingginya keawetan biasanya memenuhi sifat – sifat mekanik dari campuran dan akan memberikan umur pelayanan yang lebih lama.

Ada beberapa metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran aspal, seperti dijelaskan dibawah ini.

a. Metode Pengujian Durabilitas Standar

Salah satu metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal adalah pengujian Perendaman *Marshall* yang mana stabilitas dari benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman didalam air pada suhu 60 °C.

AASHTO (1993) menggambarkan sebuah prosedur yang berdasarkan kepada pengukuran kehilangan dari hasil sebuah kekuatan tekan dari aksi air pada pemadatan campuran aspal. Suatu indeks numerik dari berkurangnya kekuatan tekan diperoleh dengan membandingkan kekuatan tekan benda uji yang telah direndam di dalam air selama 24 jam pada suhu 60 ± 1 °C dan 2 jam di dalam air pada suhu 25 ± 1 °C di bawah kondisi yang ditentukan.

b. Metode Pengujian Durabilitas Modifikasi.

Kriteria Perendaman 24 Jam (satu hari) tidak selalu menggambarkan sifat keawetan campuran setelah masa perendaman yang lebih lama (*CRAUS, J. et al, 1981*). Peneliti – Peneliti ini memeriksa keawetan benda uji dari material aspal yang direndam di dalam air untuk waktu yang lebih lama dan dicari suatu parameter kuantitatif tunggal yang akan memberikan ciri kepada seluruh kurva keawetan. Kriteria - kriteria berikut dinilai memenuhi “indek keawetan” yaitu :

- 1). Harus rasional dan didefinisikan secara fisik.
- 2). Harus menggambarkan kekuatan menahan dan nilainya absolut.
- 3). Harus menunjukkan potensi keawetan untuk suatu rentang yang fleksibel dari masa perendaman.
- 4). Harus dengan tepat memberikan gambaran dari perbedaan perubahan waktu perendaman dari kurva keawetan.

2.6. Penelitian yang Pernah Dilakukan.

Banyak penelitian yang pernah dilakukan yang dapat dijadikan acuan atau literature untuk penyusunan tesis / penelitian ini, diantaranya adalah :

- 1). Syukur Sebayang (2000) telah melakukan penelitian Pengaruh Pasir Pantai terhadap Mutu Campuran Aspal Beton. Penelitian membandingkan penggunaan material pasir

dari pantai Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Selatan dan material pasir dari Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah. Jenis campuran yang dipakai dalam penelitian adalah *Hot Rolled Asphalt (HRA)*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

- a. Rongga udara (VITM) semakin kecil jika kadar garam pada pasir pantai tersebut berkurang. Ini dikarenakan sifat dari garam itu sendiri yang menyerap air.
 - b. Derajat kejenuhan (VFWA) semakin meningkat jika kadar garam pada pasir pantai itu berkurang.
 - c. Pasir pantai tanpa penyiraman (kadar garam 2,68 %) hanya dapat digunakan pada perkerasan jalan raya untuk lapis laston
- 2). Siswosoebrotho, et al, (2002) meneliti pengaruh penggunaan pasir dan bahan pengisi dari laut terhadap durabilitas *IIRS*. Dalam penelitian ini material dari laut dibandingkan dengan material yang berasal dari sungai dan pecahan batu. Kadar Aspal Optimum (KAO) 7,7 % untuk campuran yang mengandung material dari laut; 8,2 % untuk campuran yang mengandung pecahan batu serta 8,4 % untuk campuran yang mengandung material dari sungai.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian *Marshall Immersion* untuk mengetahui indikasi akan kerentanan (*susceptibility*) campuran terhadap pengaruh temperatur dan air. Kehilangan stabilitas yang terjadi akibat perendaman merupakan unsur ketahanan terhadap air. Perbandingan antara stabilitas terendam dengan stabilitas standar dinyatakan dalam prosentase yang disebut Indeks Kekuatan Sisa (*Index of Retained Stability = IRS*). Untuk campuran yang mengandung material dari laut, nilai IRS adalah 88,35 % dan untuk campuran yang mengandung material pecahan batu adalah 89,79 %, sedangkan untuk campuran yang mengandung material dari sungai nilai IRS-nya sebesar 72,33 %. Jadi material dari laut yang digunakan dalam campuran memenuhi persyaratan yang ditetapkan SNI dan berarti material dari laut tahan terhadap pengaruh air dan temperatur.

Hasil pengujian durabilitas jangka panjang memperlihatkan bahwa nilai kekuatan sisa campuran yang mengandung material dari laut yaitu 90,22 % mendekati nilai campuran yang mengandung pecahan batu yaitu 93,47 %.

- 3) Cakra Nagara, & Bambang Is, (2003) melakukan penelitian guna mengevaluasi pengaruh penguapan-pengembunan berulang sebagai simulasi variasi panas dan dingin yang diterima perkerasan jalan setiap hari. Penelitian dilakukan dengan percobaan

laboratorium dengan alat Marshall untuk jenis perkerasan Beton Aspal yang mengandung Gradasi V Juklak Laston 1987 Bina Marga. Aspal yang digunakan adalah aspal pen 60/70 untuk metode *Hot Mix* jenis *Asphaltic Concrete (HMA-AC)* dan aspal emulsi jenis *CSS-1* untuk metode *cold mix* yang dikenal dengan *Dense Graded Emulsion Asphalt (DGEM)*. Berdasarkan nilai kadar aspal optimum dari masing-masing metode dilakukan pengujian penguapan-pengembunan berulang. Sebagai pembandingan dilakukan pengujian lainnya yaitu : perendaman dalam air secara siklik pada suhu ruang dan pengkondisian di udara bebas. Siklus waktu pengujian adalah 10, 20, 40 dan 80 hari. Hasil penelitian menyebutkan bahwa perendaman dalam air secara siklik sampai hari ke-40 untuk perkerasan *HMA* lebih awet dari pada perkerasan *DGEM*, namun setelah hari ke-80 keadaan terbalik. Secara keseluruhan perkerasan *DGEM* lebih tahan terhadap infiltrasi uap air pada proses penguapan-pengembunan berulang dibandingkan *HMA*. Kehilangan air dan proses pemanasan untuk perkerasan *DGEM* dapat meningkatkan nilai stabilitas.

- 4) Y. Martono Hadi (2003) melakukan penelitian pengaruh permeabilitas pada suhu air yang berbeda terhadap durabilitas, dengan mengkaji ukuran potensi durabilitas campuran beraspal terhadap rembesan air yang terjadi akibat rongga yang mengakibatkan menurunnya kinerja (durabilitas) campuran beraspal pada kadar aspal yang berbeda.

Kriteria potensi durabilitas pada penelitian ini dibagi atas : Perendaman standar *Marshall* (30 menit, 60 °C) dan perendaman modifikasi *Marshall* (perendaman 3, 7, 14, 21, dan 28 hari pada suhu ruang dan perendaman pada suhu 60 °C dengan variasi 12 jam direndam - 12 jam diangin-angin) tinjauan dilakukan pada kadar aspal 4,5 %; 5,0 %; 5,5 %; 6,0 % dan 6,5 % terhadap berat total agregat. Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui rongga yang berkesinambungan sebagai indikator nilai rembesan.

Pengujian menunjukkan hasil : Benda uji yang direndam dengan suhu ruang memperlihatkan tiap kadar aspal / rongga yang berbeda mempunyai kecenderungan yang sama, yaitu penurunan nilai stabilitas yang terjadi akibat lamanya perendaman, dimana pada hari ke tujuh baru terjadi penurunan nilai stabilitas. Sedangkan benda uji yang direndam pada suhu 60 °C, terlihat semakin besar nilai rembesan akan semakin cepat penurunan nilai stabilitas, hal ini mengindikasikan pada suhu air yang berubah-

ubah cenderung mempercepat kerusakan khususnya pada rongga yang besar. Pengujian perendaman Marshall yang dimodifikasi menunjukkan Indeks Durabilitas sebagai indikator pengaruh rembesan terhadap lama waktu perendaman, dan pengujian ini dapat memperhitungkan potensi durabilitas tiap rembesan per periode rendaman.

Perbedaan dalam penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya, yaitu digunakan campuran beton tipe Lataston (*HRS-Wearing Course*) dengan agregat halus digunakan agregat pengganti berasal dari pasir pantai dengan variasi (100% pasir kali) sebagai standar; (50% pasir kali + 50 pasir pantai); dan (100 pasir pantai), perbandingan porsi seperti ini dilakukan mengingat penyerapan air, berat jenis, *sand equivalent*, gradasi maupun *density* antara pasir kali dan pasir pantai dari penelitian yang ada tidak terlalu jauh perbedaannya, adapun untuk campuran aspal panas sesuai spesifikasi baru beton aspal campuran panas edisi Agustus 2001, sedangkan Uji durabilitas modifikasi digunakan perendaman air dengan variasi ($\frac{1}{2}$ jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam).

BAB III

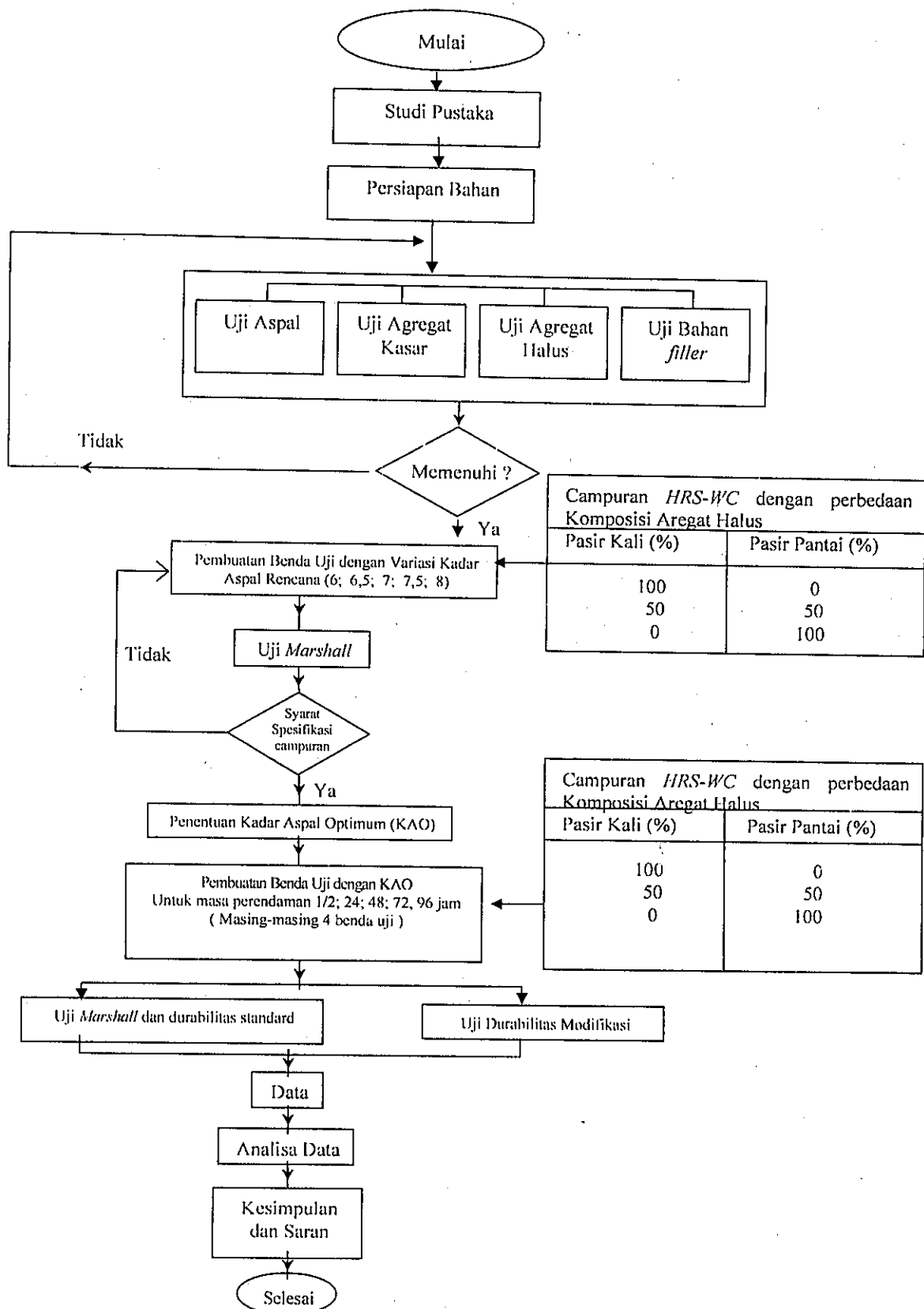
METODOLOGI PENELITIAN

1.1. Umum

Agar tujuan dan sasaran penelitian dapat dicapai sesuai yang diharapkan perlu ditentukan alur / program kerja penelitian yang akan dilaksanakan. Alur / program kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1, secara garis besar, metode pengkajian yang akan dilaksanakan berupa pengambilan bahan – bahan dilapangan kemudian dilanjutkan pengujian / pengukuran dan pengamatan dilaboratorium terhadap bahan (aspal, agregat, *filler*) dan briket campuran aspal panas. Analisa data dilakukan dengan cara membandingkan hasil yang diperoleh dari pengujian dilaboratorium dengan nilai yang ada dalam persyaratan terhadap kinerja Lataston (*HRS-WC*) berdasarkan uji *Marshall* dan uji durabilitas..

Kualitas bahan yang digunakan untuk campuran *HRS-WC* harus sesuai dengan spesifikasi. Beragam pengujian dilakukan untuk menjamin bahan yang digunakan memiliki sifat – sifat yang diinginkan. Agregat yang digunakan berasal dari satu sumber agar diperoleh sifat – sifat teknis yang sama. Sebagai sebuah komponen penting dari campuran, aspal yang digunakan harus sesuai dengan kondisi lingkungan dan memenuhi spesifikasi.

Dalam penelitian ini, pengujian bahan – bahan dilakukan dilaboratorium Teknik Sipil Akademi Teknologi Semarang, dengan menggunakan prosedur SNI (1990/1991). Jika prosedur pengujian tidak terdapat pada SNI, digunakan prosedur – prosedur lain seperti *AASHTO* (1974/1977), dan *ASTM* (1991).



Gambar 3.1 : Bagan Alir Metode Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Agregat kasar, berasal dari Kalikuto, Batang dan diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP 05 PT. Adhi Karya Cabang VI.
- b. Begitu pula untuk agregat pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu batu dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP 05 PT. Adhi Karya Cabang VI.
- c. Agregat halus (pasir kali), berasal dari Kalikuto, Batang dan diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP 05 PT. Adhi Karya Cabang VI.
- d. Agregat halus pengganti berasal dari pasir pantai Sendang Sikucing.
- e. Untuk bahan aspal menggunakan aspal aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70.

3.3 Peralatan Penelitian

- a. Alat uji pemeriksaan aspal

Digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji kelarutan.

- b. Alat uji pemeriksaan agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar, alat pengering (oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), alat uji indeks kepipihan, bak perendam, tabung *sand equivalent*, alat saringan uji soundness.

- c. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi:

- 1) Alat tekan *Marshall* yang terdiri kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan palstis (*flowmeter*).
- 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 in) dengan tinggi 7,5 cm (3 in) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 in) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3.86 inch), berat 4,5 kg (10 lb) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 in) untuk *Marshall* standar.

- 4) Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- 5) Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
- 6) Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.

3.4. Pengujian dan Persyaratan Bahan

3.4.1. Aspal

aspal yang akan digunakan di sini adalah aspal dengan penetrasi 60/70 dan pengujian yang dilakukan terhadap aspal tersebut adalah seperti dapat dilihat pada Tabel 2.1.

3.4.2. Agregat dan Filler

Agregat kasar dan halus diambil dari hasil pengolahan Stone Crusher di AMP 05 PT.Adhi Karya Cabang VI, dimana Agregat kasar bergradasi lolos saringan $\frac{3}{4}$ " tertahan # 8 dan agregat halus bergradasi lolos saringan # 8 tertahan # 200. Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan di dalam penelitian ini adalah abu batu sebagai agregat halus standar dan agregat halus pengganti diambil dari Pasir pantai Sendang Sikucing, *Filler* sekurang - kurangnya 85 % disyaratkan lolos saringan No. 200. Kepadatan lepas \geq dari 1 gr /cc. Pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

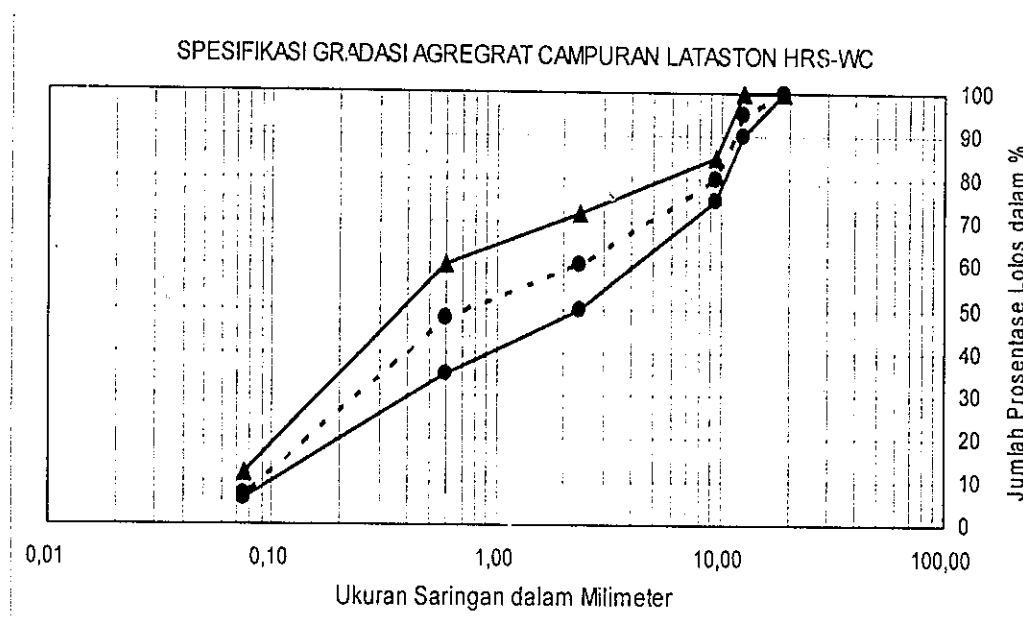
3.5. Metoda Campuran *HRS - WC*

Ketentuan sifat-sifat campuran gradasi agregat untuk campuran aspal Spesifikasi baru beton aspal campuran panas dapat dilihat pada Tabel 2.3. 2.4. dan 2.5.

Berdasarkan hasil analisis saringan maka ditentukan berat masing-masing ukuran agregat dengan prosentase yang telah ditetapkan terlebih dahulu dalam target gradasi. Setiap benda uji umumnya memerlukan berat agregat 1200 gram. Syarat untuk *HRS-WC*, yaitu paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus juga lolos ayakan no.30 (0,600 mm). Target gradasi dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.1. Target Gradasi dengan ukuran Maksimum 19 mm

Ukuran Ayakan		Prosentase Lolos	Hasil Perhitungan		Berat
ASTM	mm		Target Gradasi	Tertahan	
¾"	19	100	100	0	-
½"	12,5	90 – 100	95	5	60
3/8"	9,5	75 – 85	80	15	180
# 8	2,36	50 – 72	60	20	240
# 30	0,600	35 – 60	48	12	144
# 200	0,075	6 - 12	7	41	492
		Pan		7	84
Berat total agregat (gram)					1200



Gambar 3.2 Target gradasi

3.5.1. Prosedur Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Untuk menentukan kadar aspal optimum diperkirakan dengan penentuan kadar aspal optimum secara empiris dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + K \quad (3.1)$$

Keterangan :

P_b = perkiraan kadar aspal terhadap campuran, persentase berat terhadap campuran

CA = *Aggregate* kasar tertahan saringan nomor 8

FA = *Aggregate* halus lolos saringan nomor 8

FF = Bahan pengisi lolos saringan nomor 200

Nilai K = Konstanta 2,0 sampai dengan 3,0 untuk lataston

Nilai Pb hasil perhitungan dibulatkan mendekati 0,5 %. Ditentukan 2 (dua) kadar aspal diatas dan 2 (dua) kadar aspal dibawah kadar aspal perkiraan awal yang sudah dibulatkan mendekati 0,5 % ini.

Kemudian siapkan benda uji untuk *Marshall test* sesuai tahapan berikut ini :

a. Tahap I :

Berdasarkan perkiraan kadar aspal optimum Pb dibuat benda uji dengan jenis aspal pertamina dengan dua variasi kadar aspal diatas Pb dan dua variasi kadar aspal dibawah Pb (-1,0 %; -0,5 %; Pb; +0,50 %, + 1,0%), dan divariasi komposisi agregat halus (100%pasir kali; 50%pasir kali+50%pasir pantai; 100%pasir pantai), dibuat benda uji masing-masing 4 (empat) benda uji terdiri 2 (dua) kering dan 2 (dua) rendaman. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* standar 2 x 75 tumbukan dan pengujian durabilitas untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi *Marshall* dan Indeks stabilitas sisa. Dari hubungan antara kadar aspal dengan sifat *Marshall*, ditentukan kadar aspal optimum.

b. Tahap II :

Berdasarkan hasil uji Tahap I, pada uji Tahap II dibuat variasi dengan komposisi agregat halus masing pada durasi perendaman (1/2, 24, 48, 72 dan 96) jam kemudian lakukan uji *Marshall* kondisi standard (2 x 75) tumbukan dan kondisi refusal density (2 x 400) tumbukan untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, kepadatan, stabilitas, kelelahan dan *MQ*, serta pengujian perendaman / durabilitas standard dan pengujian perendaman / durabilitas modifikasi untuk menentukan nilai indeks durabilitas pertama (r , R) dan nilai indeks durabilitas kedua (S_a , S_A). Perincian pengujian dapat dilihat pada jumlah sampel penelitian seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Jumlah Sampel Penelitian

Tahap I : Uji *Marshall* standar Kadar Aspal Optimum

Komposisi Agregat Halus	Kadar Aspal (%)					Jumlah
	-1,0%	-0,5%	Pb	+0,5%	1%	
100 % PK	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	20
50% PK + 50% PP	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	20
100% PP	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	20
Sub total						60

Tahap II: Uji Marshall standar dan Uji Durabilitas Modifikasi (2x75) pada KAO

Komposisi Agregat Halus	Lama Perendaman (jam)					Jumlah
	1/2	24	48	72	96	
100 % PK	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	20
50% PK + 50% PP	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	20
100% PP	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	20
Sub total						60

Tahap II: Uji Marshall kepadatan mutlak dan Uji Durabilitas Modifikasi (2x400) pada KAO

Komposisi Agregat Halus	Lama Perendaman (jam)					Jumlah
	1/2	24	48	72	96	
100 % PK	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	20
50% PK + 50% PP	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	20
100% PP	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	2D/2S	20
Sub total						60

Keterangan :

- S = Sampel diasumsikan dalam kondisi (soaked) rendaman
 D = Sampel diasumsikan dalam kondisi (dry) kering.
 PK = Pasir Kali
 PP = Pasir Pantai

Jumlah total sampel penelitian : $60 + 60 + 60 = 180$ sampel

3.5.2. Pengujian Marshall

- Direncanakan gradasi agregat sesuai dengan prosentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing fraksi dengan berat campuran kira-kira 1200 gram untuk diameter 4 inch, kemudian dikeringkan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu $(105 \pm 5)^{\circ} \text{C}$.
- Pencampuran aspal-agregat pada temperatur rencana viskositas kinematik 100 ± 10 centistokes, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.
- Setelah temperatur pemadatan tercapai yaitu pada viskositas kinematik 100 ± 10 centistokes, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang telah

- dipanasi (100°C hingga 170°C) dan diolesi vaselin terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas filter atau kertas lilin (*waxed paper*) yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan, sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali dibagian tepi dan 10 kali dibagian tengah.
- d. Pemadatan standar dilakukan dengan pemadat manual dengan jumlah tumbukan 75 kali dibagian sisi atas kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk sebanyak 75 kali.
 - e. Pemadatan lanjutan untuk kepentingan kepadatan membal (*refusal*) dilaksanakan seperti cara pemadatan standar hanya tumbukannya dilakukan sebanyak 2×400 tumbukan.
 - f. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didiamkan agar suhunya turun, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
 - g. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang beratnya di udara.
 - h. Benda uji direndam dalam air selama 10 – 24 jam supaya jenuh.
 - i. Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air.
 - j. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.
 - k. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 30 hingga 40 menit. Untuk uji perendaman mendapatkan stabilitas sisa pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - l. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
 - m. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, tempatkan benda uji tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian pasang bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat di tengah alat pembebanan, arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada dudukan diatas salah satu batang penuntun.
 - n. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.
 - o. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inch.) per menit, hingga kegagalan benda uji terjadi yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai

kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibuka arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat benda uji mengalami kegagalan adalah merupakan nilai stabilitas *Marshall*.

- p. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 60 detik.
- q. Untuk pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dengan tingkat penetrasi 60/70.
- r. Campuran agregat aspal standar dimasukkan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisi sebanyak 75 kali pada temperatur $\pm 160^{\circ}\text{C}$.
- s. Selanjutnya campuran agregat – aspal dicampur pada suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu pemadatannya ditetapkan pada suhu 140°C .
- t. Campuran agregat aspal untuk mencapai kepadatan membal dimasukkan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisinya 400 kali pada suhu pencampuran $\pm 160^{\circ}\text{C}$ dan suhu pemadatan $\pm 140^{\circ}\text{C}$.
- u. Setelah proses pemadatan selesai, benda uji didinginkan selama ± 4 jam, dan kemudian dilakukan *test Marshall*.

3.5.3. Pengujian Perendaman Standard

Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990. Perendaman benda uji dilakukan pada temperatur $60^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Masing-masing golongan terdiri dari 2 sampel yang direndam pada bak perendam untuk semua variasi kadar aspal.

Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian Marshall perendaman di dalam air pada suhu 60°C selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*), dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = \frac{MS_i}{MS_s} \times 100 \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan : *IRS* = Indeks Stabilitas Sisa (%)

MS_s = Stabilitas Marshall Standar (kg)

MS_i = Stabilitas Marshall Perendaman (kg)

Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas mensyaratkan *IRS* harus lebih besar dari 80 %. (lihat Tabel. 2.3).

3.5.4. Pengujian Durabilitas Modifikasi

(*Crauss, J et al, 1981*) telah mengembangkan parameter tunggal yang dapat menggambarkan kondisi keawetan suatu campuran beraspal panas, setelah melalui serangkaian periode perendaman tertentu. Parameter ini dinamakan indeks keawetan dan terdiri dari dua jenis, yaitu indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua. Dalam metode ini dilakukan lama perendaman (1/2, 24, 48, 72 dan 96) jam.

Dua indek telah diperoleh yang paling memenuhi kriteria di atas.

a). Indeks Durabilitas pertama

Indeks pertama didefinisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan.

Berdasarkan Gambar 3.3, indeks (*r*) dinyatakan sebagai berikut :

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

S_0 = nilai absolut dari kekuatan awal.

S_i = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_i

S_{i+1} = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_{i+1}

t_i, t_{i+1} = waktu perendaman (mulai dari awal pengujian)

Sebagai contoh, kalau pengukuran diambil setelah 1, 3, 5 dan 7 hari perendaman, maka indeks kekuatan menjadi :

$$r = \frac{S_0 - S_{10}}{10} + \frac{S_{10} - S_{20}}{10} + \frac{S_{20} - S_{30}}{10} \dots\dots\dots (3.4)$$

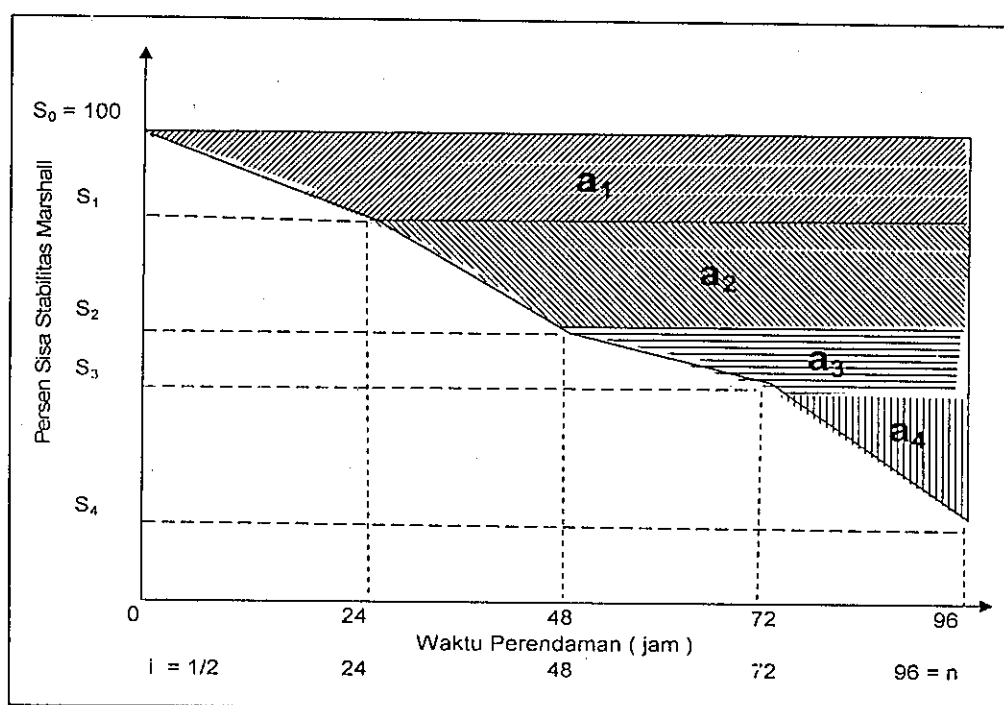
b). Indeks Durabilitas Kedua

Indeks kekuatan kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis $S_0 = 100$ persen. Berdasarkan Gambar 3.3, indeks (*a*) ini dinyatakan sebagai berikut : $(S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})]$

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} \dots\dots\dots (3.5)$$

Indeks keawetan kedua juga dinyatakan sebagai suatu kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari (a) menunjukkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif sebagai peningkatan kekuatan. Menurut definisinya, $a < 100$. Karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase kekuatan sisa satu hari (S_a) sebagai berikut :

$$S_a = (100 - a) \dots \dots \dots (3.6)$$



Sumber : CRAUS, J. dan kawan-kawan., (1981)

Gambar 3.3. Gambaran Skema Kurva Keawetan

3.5.5. Pengujian Analisa campuran aspal panas.

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas adalah sebagai berikut :

a. Berat Jenis Bulk dari Total Agregat :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots \dots \dots (3.7)$$

b. Berat Jenis Aparent dari Total Agregat

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \dots \dots \dots (3.8)$$

- c. Berat Jenis Efektif dari Total Agregat

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \text{----- (3.9)}$$

- d. Berat Jenis Teoritik Maksimum dari Campuran (*Compacted Mixture*)

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_s} + \frac{P_b}{G_b}} \text{----- (3.10)}$$

- e. Rongga Udara dalam Campuran (*Void in the Mixture*) dalam persen terhadap total volume :

$$VIM = 100 \times \left(\frac{G_{mm} + G_{mb}}{G_{mm}} \right) \text{----- (3.11)}$$

- f. Rongga dalam mineral agregat (*Void in the Mineral Aggregate*) dalam persen terhadap total volume :

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mm} + P_s}{G_{sb}} \right) \text{----- (3.12)}$$

- g. Berat isi atau kepadatan (*density*) :

$$Density = \frac{\text{Berat benda uji di udara}}{\text{Isi benda uji}} \text{----- (3.13)}$$

- h. Persen rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt*) dalam persen terhadap VMA :

$$VFA = 100 \times \left(\frac{VMA - VIM}{VMA} \right) \text{----- (3.14)}$$

- i. Marshall *Quotient* (MQ)

$$MQ = \frac{MS}{MF} \text{----- (3.15)}$$

Keterangan :

G_{sb}	= Berat Jenis Bulk total agregat dalam gr/cc
$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$	= Persen berat dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}, \dots, G_{sbn}$	= Berat Jenis Bulk dari agregat 1, 2, 3, ..., n
G_{sa}	= Berat Jenis Apparent dari total agregat
$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}, \dots, G_{san}$	= Berat Jenis Apparent dari agregat 1, 2, 3, ..., n

G_{se}	= Berat Jenis Efektif dari total agregat
G_{mm}	= Berat Jenis Teoritis maksimum dari campuran padat tanpa rongga udara.
P_{mm}	= Total campuran yang hilang. Persen dari total campuran = 100 %
P_b	= Kadar aspal dari total berat campuran
G_b	= Berat Jenis dari aspal
P_s	= Persentase agregat, persen dari total berat campuran
G_{mb}	= Berat Jenis Bulk dari campuran
VIM	= <i>Void in the Mix</i> (Persen rongga dalam campuran), Persen dari total volume
VMA	= <i>Void in Mineral Aggregate</i> (Persen rongga dalam mineral agregat), persen dari volume bulk
VFA	= Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA
MS	= Stabilitas <i>Marshall</i>
MF	= <i>Marshall Flow</i> (kelelehan)
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
MSS	= Stabilitas <i>Marshall</i> kondisi Standar
MSI	= Stabilitas <i>Marshall</i> kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60° C
IRS	= <i>Indeks of Retained Strength</i>

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Material

Sebagaimana yang telah disampaikan pada bagan alir pengujian material dilakukan dengan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1991, serta *AASHTO* 1993 dan *ASTM* 1991 sebagai acuan apabila pengujian yang dimaksud tidak terdapat dalam SNI, pengujian material meliputi : pemeriksaan sifat fisik agregat (kasar, halus dan *Filler*), serta pemeriksaan sifat fisik aspal Penetrasi 60/70.

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pemeriksaan fisik agregat meliputi agregat kasar, agregat halus dan *filler* dipresentasikan pada Tabel 4.1. Hasil pemeriksaan fisik secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.

No	Sifat-sifat	Sat.	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan			Keterangan
			Min	Maks				
Agregat Kasar								
1	Penyerapan air	%	-	3	1,490			Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cc	2,5	-	2,647			Memenuhi
3	Berat jenis semu	gr/cc	-	-	2,756			Memenuhi
4	Berat jenis efektif	gr/cc	-	-	2,686			Memenuhi
5	Tes abrasi Los Angeles	%	-	40	23,50			Memenuhi
6	Indeks kepipihan	%	-	10	1,71			Memenuhi
7	Kelekatan dengan aspal	%	95	-	98			Memenuhi
8	<i>Soundness test</i>	%	-	7	5,26			Memenuhi
Agregat Halus					100%pk	50%pk: 50%pp	100%pp	
1	Penyerapan air	%	-	3	1,338	1,471	1,564	Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cc	2,5	-	2,677	2,729	2,738	Memenuhi
3	Berat jenis semu	gr/cc	-	-	2,777	2,843	2,861	Memenuhi
4	Berat jenis efektif	gr/cc	-	-	2,713	2,769	2,781	Memenuhi
5	<i>Sand equivalent</i>	%	50	-	85,71	88,89	91,49	Memenuhi
Filler								
1	Berat jenis	gr/cc	1	-	2,551			Memenuhi

Hasil-hasil pengujian agregat menunjukkan bahwa baik agregat kasar, agregat halus dan *filler* memenuhi persyaratan. Agregat kasar batu Kalikuto, mempunyai nilai berat jenis

bulk (curah) 2,647 gr/cc lebih besar dari nilai berat jenis minimal sebesar 2,5 gr/cc, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif tidak dipersyaratkan, tetapi sebaiknya mengacu pada persyaratan > 2,5 gr/cc, sedangkan penyerapan air diperoleh dari pengujian didapat hasil 1,490 % yang lebih kecil dari persyaratan yang ditetapkan sebesar 3%.

Untuk hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, menunjukkan bahwa agregat kasar yang akan digunakan tahan terhadap abrasi, ini dapat dilihat dari hasil pengujian nilai keausan 23.50 % yang diperoleh lebih kecil dari persyaratan yang ditetapkan sebesar 40 %, sedangkan nilai kelekatan agregat kasar terhadap aspal 98 %, menunjukkan bahwa lebih dari 95 % sebagai persyaratan yang ditetapkan agregat kasar terselimuti aspal.

Pengujian Indek Kepipihan yang bertujuan untuk membatasi jumlah agregat kasar bentuk pipih dalam campuran yang ditunjukkan dalam nilai indek kepipihan. Dari hasil pengujian didapat nilai indek kepipihan 1.71 % dibawah batas maksimal yang dipersyaratkan sebesar 10 %.

Pengujian *Soundness* bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap pengaruh cuaca yang menunjukkan tingkat keawetan suatu gregat, dari hasil pengujian pada agregat yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ " dan tertahap $\frac{3}{8}$ ", serta lolos saringan $\frac{3}{8}$ " tertahan # 4, hasil rerata yang diperoleh 5, 06% dibawah batas maksimal yang dipersyaratkan sebesar 7 %.

Pada pengujian agregat halus, hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus (pasir), berasal dari 100% pasir kali Muntilan, 50% pasir kali dan 50% pasir pantai, serta 100% dari Pasir Pantai sedang sikucing mempunyai nilai berat jenis *bulk* (curah) 2,677 gr/cc, 2,729 gr/cc dan 2,738 gr/cc lebih besar dari nilai berat jenis minimal sebesar 2.5 gr/cc, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif tidak dipersyaratkan, tetapi sebaiknya mengacu pada persyaratan > 2.5 gr/cc, sedangkan penyerapan air diperoleh dari pengujian didapat hasil 1,338%, 1,471, dan 1,564 % yang lebih kecil dari persyaratan yang ditetapkan sebesar 3%.

Uji *sand equivalent* bertujuan untuk mengetahui kandungan kadar lumpur pada agregat halus, sebagai persyaratan untuk nilai *sand equivalent* batas minimum 50 %, sedangkan hasil uji yang diperoleh dari agregat halus 85,71%, 88,89% dan 91,49% memenuhi batas minimum yang dipersyaratkan.

Pada pengujian untuk *filler* sebagaimana dipersyaratkan hanya diuji berat jenis, sebagai rujukan persyaratan minimal nilai berat jenisnya 1%, sedangkan hasil uji yang diperoleh nilainya sebesar 2,551 gr/cc.

Secara keseluruhan baik agregat kasar, agregat halus dan *filler* telah memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran Spesifikasi baru pada Lataston (*HRS-WC*).

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal

Pemeriksaan dilakukan terhadap sifat fisik aspal penetrasi 60/70 untuk ex Pertamina yang telah memenuhi spesifikasi SN1 dan *AASHTO*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2. Hasil secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen. 60/70. Ex Pertamina

No	Sifat-sifat	Satuan	Spesifikasi Pen 60/70		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Min	Max		
1	Penetrasi (25 ⁰ C, 100 gr, 5 detik)	0.1 mm	60	79	65,4	Memenuhi
2	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	⁰ C	48	58	49	Memenuhi
3	Titik nyala (<i>leveland open cup</i>)	⁰ C	200	-	321	Memenuhi
4	Kehilangan berat (163 ⁰ C), 5 jam	% berat	-	0,4	0,16	Memenuhi
5	Kelarutan (CCl ₄)	% berat	99	-	99,32	Memenuhi
6	Daktilitas (25 ⁰ C, 5 cm per menit)	Cm	100	-	>110	Memenuhi
7	Pen setelah kehilangan berat	% asli	54	-	81,83	Memenuhi
8	Daktilitas setelah kehilangan berat	Cm	50	-	>110	Memenuhi
9	Berat jenis (25 ⁰ C)	gr/cm ³	1	-	1,032	Memenuhi

Aspal merupakan hasil dari sisa (residu) dari produksi minyak mentah, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa dilaboratorium, pemeriksaan aspal terdiri dari :

a. Pemeriksaan Penetrasi

Nilai penetrasi didapat dari uji penetrasi dari alat penetrometer pada suhu 25⁰C dengan beban 100 gr selama 5 detik, dimana dilakukan sebanyak lima kali. Dari hasil pemeriksaan kedua jenis aspal penetrasi 60/70 diatas menunjukkan hasil memenuhi persyaratan antara 60 mm – 79 mm.

b. Pemeriksaan Daktilitas Aspal

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik pada cetakan yang berisi aspal sebelum putus, pada suhu 25⁰C dengan kecepatan tarik 5

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik pada cetakan yang berisi aspal sebelum putus, pada suhu 25°C dengan kecepatan tarik 5 cm/menit. Besarnya daktilitas aspal 60/70 disyaratkan minimal 100 cm. Dari hasil uji pemeriksaan daktilitas terhadap kedua jenis aspal diatas diperoleh hasil diatas 110 cm, sehingga kedua jenis aspal penetrasi 60/70 diatas menunjukkan hasil memenuhi persyaratan.

c. Pemeriksaan Titik Lembek

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah mengukur nilai temperatur dimana bola-bola baja mendesak turun lapisan aspal yang ada pada cincin, hingga aspal tersebut menyentuh dasar pelat yang terletak pada dibawah cincin pada jarak 1 (inch), sebagai akibat dari percepatan pemanasan tertentu. Berat bola baja 3,45 -3,55 gr dengan diameter 9,53 mm. Pemeriksaan ini diperlukan untuk mengetahui batas kekerasan aspal. Pengamatan titik lembek dimulai dari suhu 5°C sebagai batas paling tinggi sifat kekakuan dari aspal yang disebabkan sifat termoplastik. Untuk aspal keras jenis penetrasi 60/70, syarat titik lembek berkisar antara $48^{\circ}\text{C} - 58^{\circ}\text{C}$. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh nilai untuk kedua jenis aspal diatas memenuhi syarat.

d. Pemeriksaan Titik Nyala

Pemeriksaan ini untuk menentukan suhu dimana diperoleh nyala pertama diatas permukaan aspal dan menentukan suhu dimana terjadi terbakarnya pertama kali diatas permukaan aspal. Dengan mengetahui nilai titik nyala dan titik bakar aspal, maka dapat diketahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sebelum terbakar. Besarnya titik nyala yang disyaratkan untuk penetrasi 60/70 minimal 200°C . Dari hasil pemeriksaan kedua jenis aspal diatas menunjukkan titik nyala dan titik bakar diatas persyaratan yang ditentukan

e. Pemeriksaan kehilangan berat

Pemeriksaan ini berguna untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan unsur-unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal. Apabila aspal dipanaskan didalam oven pada suhu 163°C dalam waktu 4,5 – 5 jam, maka akan terjadi reaksi terhadap unsur-unsur pada aspal, sehingga dimungkinkan sifat aspal akan berubah, ini tidak diharapkan pada lapis perkerasan lentur dengan menggunakan aspal, untuk itu dipersyaratkan penurunan berat aspal maksimum adalah 0,8 % dari berat semula Dari

hasil pemeriksaan kedua jenis aspal diatas menunjukkan penurunan berat aspal memenuhi persyaratan yang ditentukan.

f. Pemeriksaan penetrasi setelah kehilangan berat.

Aspal yang dipanaskan pada suhu 163°C . Selama waktu ± 5 jam akan mengalami kehilangan berat, sebagai akibatnya aspal akan mengalami perubahan sifat, perubahan ini akan diketahui dari pemeriksaan terhadap aspal tersebut. Pemeriksaan aspal dilakukan uji penetrasi setelah kehilangan berat yang pada umumnya aspal yang sudah mengalami penurunan berat akan mempunyai angka penetrasi yang lebih kecil dari angka penetrasi standarnya, dengan kata lain kekerasannya menjadi meningkat, tetapi bukan berarti kualitas aspal menjadi semakin baik, dikarenakan sifat aspal menjadi kurang lentur dan mudah retak, dalam hal ini justru akan mengurangi kualitas aspal. Dari hasil pemeriksaan diperoleh persentasi penetrasi setelah kehilangan berat dibandingkan dengan penetrasi standarnya (minimal 54%), dengan demikian kedua jenis aspal diatas memenuhi persyaratan.

g. Pemeriksaan kelarutan dalam *Carbon tetra Clorida* (CCl_4)

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah unsur aspal dalam CCl_4 , dengan adanya bahan-bahan tidak terlarut dalam CCl_4 menunjukkan adanya bahan lain yang terlarut dalam residu aspal. Persyaratan dalam pemakaian aspal yang diinginkan adalah aspal dalam kondisi tidak tercampur dengan bahan-bahan lain yang tidak terlarut dalam CCl_4 , untuk aspal penetrasi 60/70 disebutkan minimal sebesar 99%. Dari hasil pemeriksaan diperoleh hasil diatas persyaratan dengan demikian kedua jenis aspal diatas memenuhi persyaratan.

h. Pemeriksaan berat jenis aspal

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama. Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah 1 gr/cc. Dari hasil pemeriksaan kedua jenis aspal diatas menunjukkan hasil diatas persyaratan, sehingga aspal ex Pertamina dapat digunakan dalam penelitian sebagai bahan ikat pada campuran *HRS-WC*.

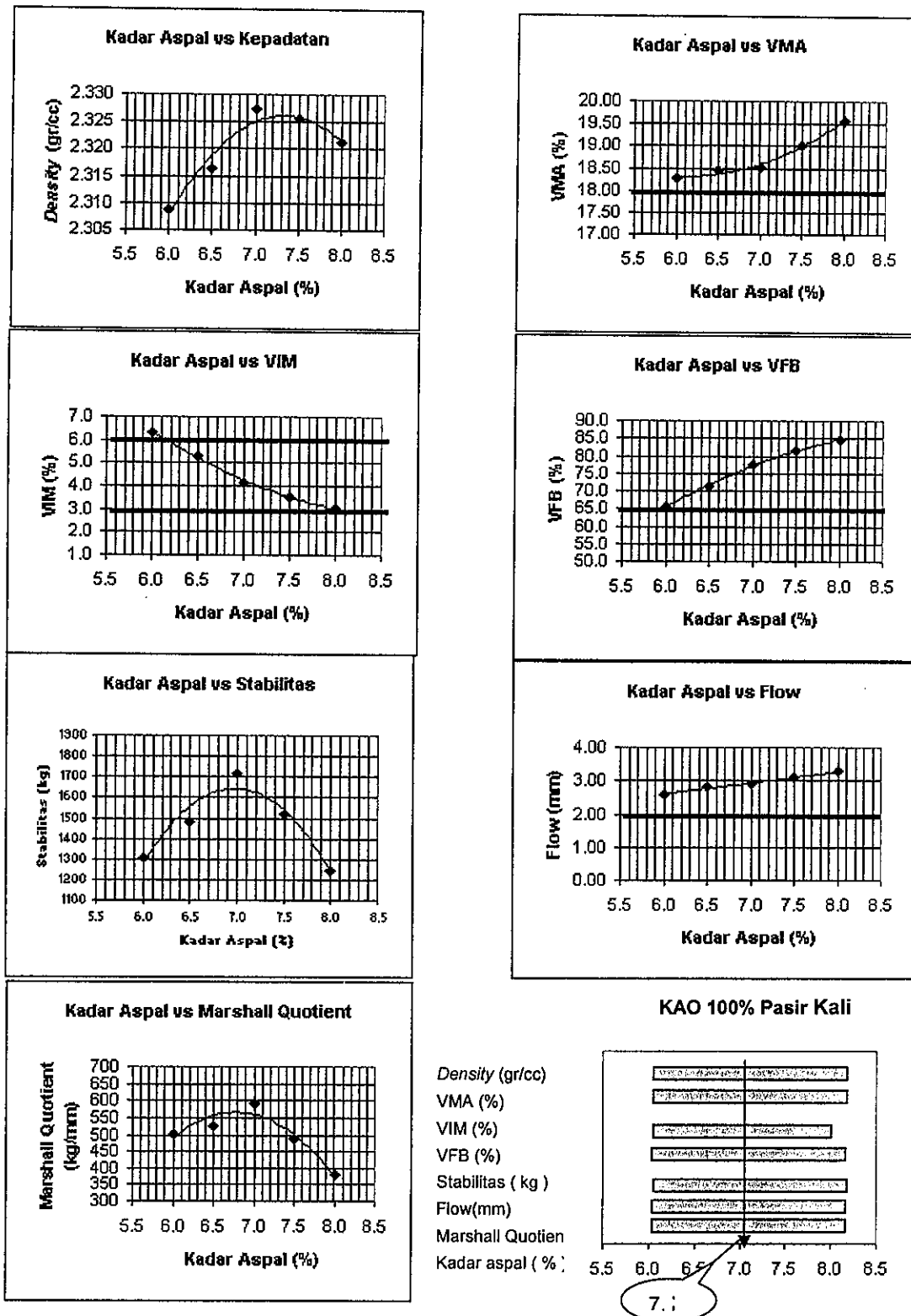
Pengujian *Marshall* dan uji Durabilitas dilakukan dalam dua tahap. tahap pertama adalah untuk mencari Kadar aspal optimum dengan tolok ukur besaran *VIM* antara 3 % - 6 % sesuai Spesifikasi baru untuk campuran Lataston *HRS-WC*, sedangkan tahap kedua untuk mencari sifat-sifat *Marshall* campuran pada kondisi standard (2 x 75) tumbukan maupun kepadatan mutlak (2 x 400) tumbukan pada kadar aspal optimum dengan membuat variasi durasi perendaman (1/2, 24, 48, 72, 96) jam, serta Pengujian perendaman standard (*IRS*) dan pengujian perendaman modifikasi (indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua) dengan membuat 3 variasi pengambilan, yaitu variasi gradasi 100% agregat halus dari pasir kali, gradasi 50% pasir kali + 50% pasir pantai dan gradasi 100% pasir pantai.

4.1.3. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap I

Pada tahap pertama disiapkan masing-masing dua jenis sampel untuk masing-masing kondisi *Dry*, dengan pembuatan benda uji dilakukan pada kadar aspal optimum perkiraan sebesar 7 % (sesuai dengan persamaan 3.1) terhadap total agregat dan dilakukan variasi agregat halus (100% pasir kali, 50% Pasir kali + 50% pasir pasir pantai, 100% pasir pantai) dan kadar aspal sebesar 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 %, 8 %. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3. s/d Tabel 4.5. dan Gambar 4.1 s/d Gambar 4.3. dan hasil secara lengkap terdapat pada Lampiran D.

Tabel 4.3. Hasil Test *Marshall* Campuran *HRS-WC* dengan menggunakan 100 % pasir kali dan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan

No	Karakteristik	Syarat	% Kadar aspal terhadap total agregat				
			6	6,5	7	7,5	8
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,309	2,316	2,327	2,326	2,321
2	<i>VMA</i> (%)	min 18	18,29	18,46	18,50	19,00	19,59
3	<i>VFB</i> (%)	min 65	65,50	71,30	77,60	81,40	84,60
4	<i>VIM</i> (%)	3 – 6	6,30	5,30	4,15	3,53	3,01
5	Stabilitas (kg)	min 800	1304	1482	1715	1516	1242
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2,60	2,83	2,90	3,10	3,29
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	501,35	524,60	491,97	489,87	378,09

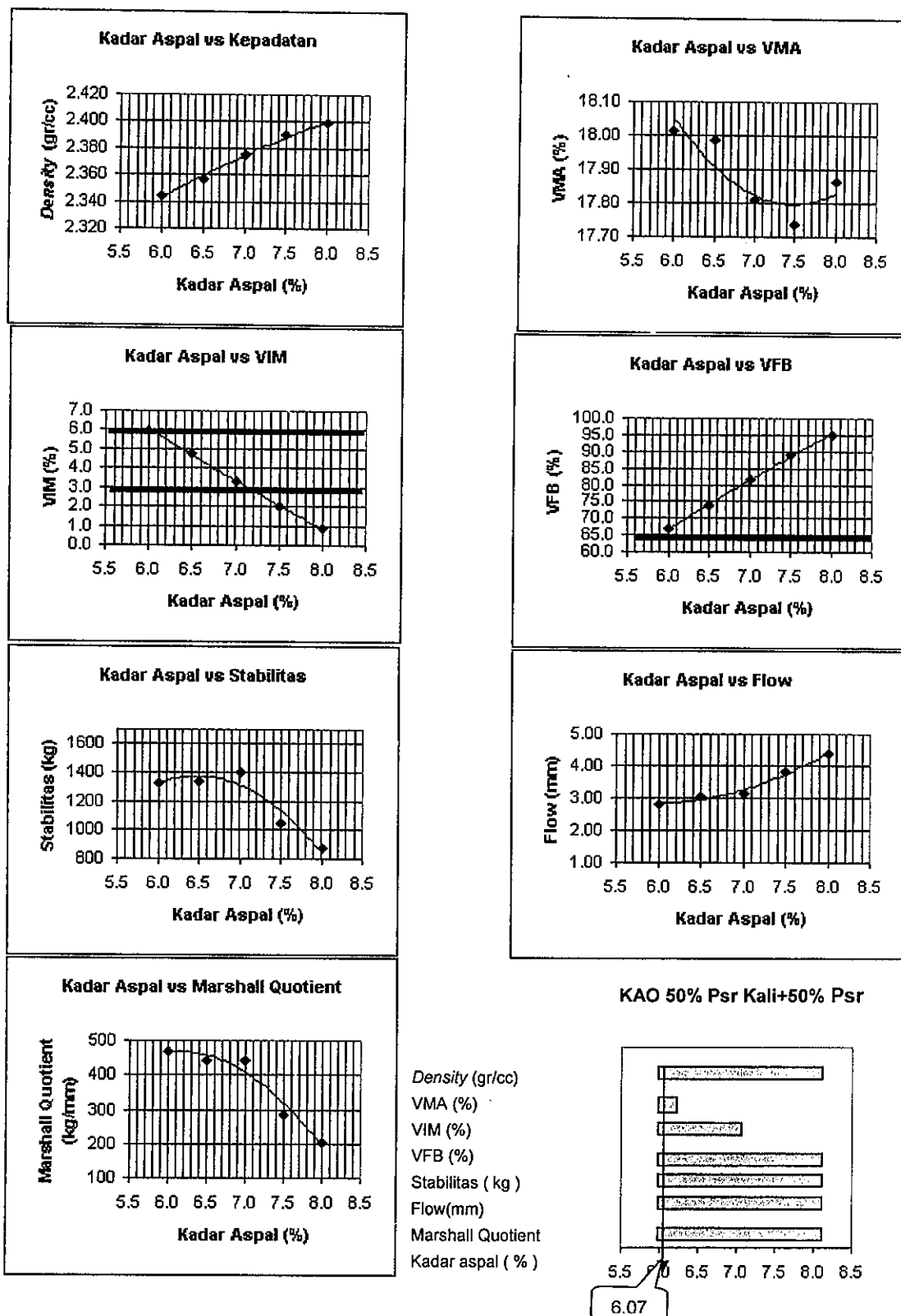


Gambar 4.1. Hasil Test *Marshall* Campuran *HRS-WC* dengan menggunakan 100 % pasir kali dan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan.

Dari nilai karakteristik campuran dengan variasi agregat halus 100% pasir kali yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, sesuai persyaratan spesifikasi serta dari hasil analisa seperti pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.1. Didapat nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk $VMA >$ pada kadar aspal 6% - 8%, $VFB >$ pada kadar aspal 6% - 8% dan VIM pada kadar aspal 6,2% - 8%, dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas dan *flow* di atas, maka ditentukan kadar aspal optimum 7,1 %, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.3. dan Gambar 4.1.

Tabel 4.4. Hasil Test *Marshall* Campuran *HRS-WC* dengan menggunakan 50% pasir kali + 50% pasir pantai dan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan

No	Karakteristik	Syarat	% Kadar aspal terhadap total agregat				
			6	6,5	7	7,5	8
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,344	2,357	2,375	2,390	2,399
2	<i>VMA</i> (%)	min 18	18,02	17,99	17,81	17,74	17,86
3	<i>VFB</i> (%)	min 65	66,8	73,6	81,5	88,9	95,1
4	<i>VIM</i> (%)	3 – 6	6,0	4,70	3,30	2,0	0,9
5	Stabilitas (kg)	min 800	1324	1338	1401	1048	871
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2,82	3,03	3,16	3,79	4,38
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	469,53	442,73	443,32	285,44	203,97

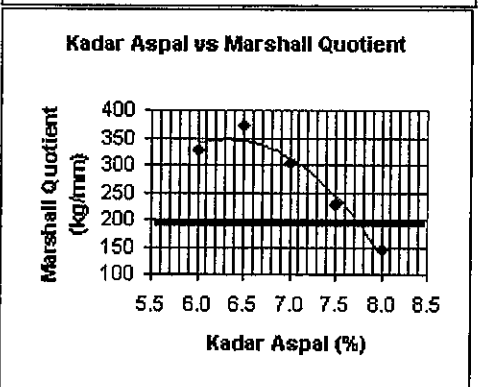
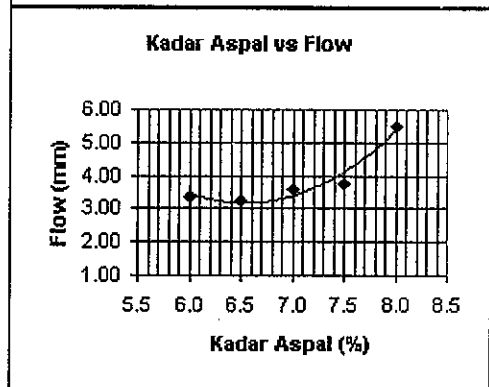
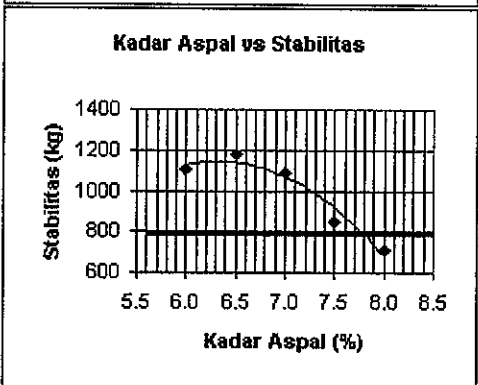
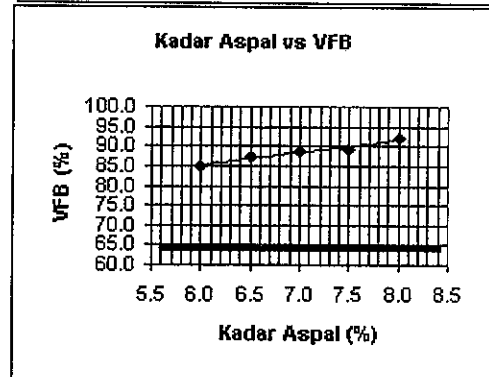
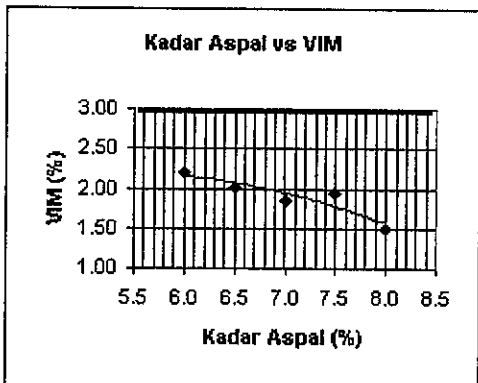
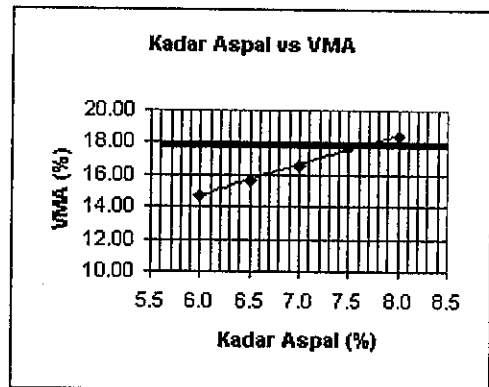
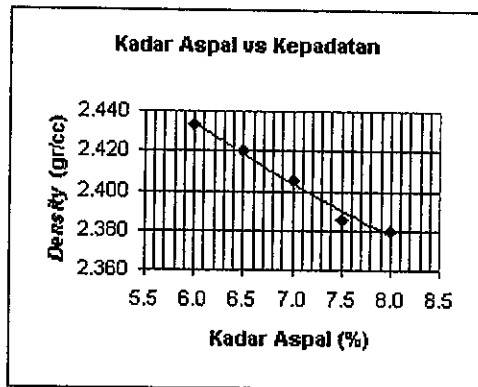


Gambar 4.2. Hasil Test Marshall Campuran HRS-WC dengan menggunakan 50 % pasir kali : 50% pasir pantai dan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan.

Dari nilai karakteristik campuran dengan variasi agregat halus 50% pasir kali : 50% pasir pantai yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, sesuai persyaratan spesifikasi serta dari hasil analisa seperti pada Tabel 4.4. dan Gambar 4.2. Didapat nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk *VMA* > pada kadar aspal 6% - 6,14%, *VFB* > pada kadar aspal 6% - 8% dan *VIM* pada kadar aspal 6% - 7%, dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas dan *flow* di atas, maka ditentukan kadar aspal optimum 6,07 %, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4. dan Gambar 4.2.

Tabel 4.5. Hasil Test *Marshall* Campuran *HRS-WC* dengan menggunakan 100 % pasir pantai dan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan

No	Karakteristik	Syarat	% Kadar aspal terhadap total agregat				
			6	6,5	7	7,5	8
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,433	2,420	2,406	2,386	2,380
2	<i>VMA</i> (%)	min 18	14,75	15,66	16,61	17,74	18,40
3	<i>VFB</i> (%)	min 65	85,04	87,20	88,88	89,04	91,99
4	<i>VIM</i> (%)	3 – 6	2,21	2,01	1,86	1,95	1,49
5	Stabilitas (kg)	min 800	1103	1179	1086	852	712
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	3,39	3,28	3,59	3,74	5,52
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	326,46	371,85	303,94	226,97	145,24



KAO 100% Psr Laut (tidak ada)

Density (gr/cc)

VMA (%)

VIM (%)

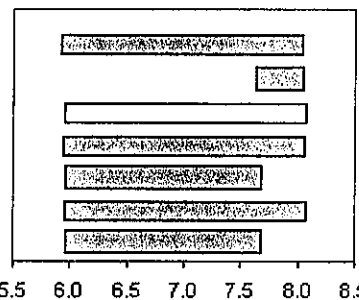
VFB (%)

Stabilitas (kg)

Flow (mm)

Marshall Quotien

Kadar aspal (%)



Gambar 4.3. Hasil Test Marshall Campuran HRS-WC dengan menggunakan 100 % pasir pantai dan variasi kadar aspal pada (2x75) tumbukan.

Dari nilai karakteristik campuran dengan variasi agregat halus 100% pasir pantai yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, sesuai persyaratan spesifikasi serta dari hasil analisa seperti pada Tabel 4.5. dan Gambar 4.3. Didapat nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk $VMA >$ pada kadar aspal 8 %, $VFB >$ pada kadar aspal 6% - 8% dan VIM tidak ada variasi kadar aspal yang memenuhi persyaratan, dari hasil analisis void terutama VIM yang terlalu rendah mengakibatkan VFB menjadi terlalu tinggi dan VMA menjadi rendah, sehingga tidak ada lagi ruang untuk aspal untuk menyelimuti agregat, akibatnya terjadi *bleeding* serta uji stabilitas menjadi rendah dan *flow* terlalu tinggi menjadikan MQ menjadi terlalu rendah, karena tidak memenuhi persyaratan spesifikasi maka pada uji *Marshall* tahap I pada variasi agregat halus 100% pasir pantai tidak dilanjutkan pada pengujian tahap II, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5. dan Gambar 4.3.

4.1.4. Hasil Pengujian *Marshall* (2 x 75) tumbukan dan (2 x 400) tumbukan, serta Uji Perendaman standard dan Modifikasi pada Kadar Aspal Optimum dan variasi agregat halus 100 % pasir kali dan 50% pasir kali + 50% pasir pantai.

Pada penelitian tahap II yaitu untuk mencari nilai karakteristik *Marshall* kondisi standar (2x75) tumbukan dan kepadatan mutlak (2x400) tumbukan serta uji Perendaman standard maupun modifikasi pada durasi perendaman (1/2, 24, 48, 72, 96) jam.

Pada tahap II, disiapkan masing-masing dua jenis sampel untuk kondisi *Dry* dan *Soaked*, dengan pembuatan benda uji dilakukan pada KAO 7,1 % untuk kandungan 100% pasir kali, dan KAO 6,07% untuk (50% pk. + 50% pp.), hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.6, sampai dengan Tabel 4.17, hasil secara lengkap terdapat pada Lampiran E.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada KAO (100% pasir kali) kondisi standar (2x75) tumbukan

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)				
			1/2	24	48	72	96
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,337	2,337	2,334	2,329	2,303
2	VMA (%)	min 18	18,264	18,266	18,353	19,531	19,437
3	VFB (%)	min 65	80,169	80,148	79,655	78,719	74,213
4	VIM (%)	3 – 6	3,630	3,632	3,734	3,944	5,012
5	Stabilitas (kg)	min 800	1385,8	1342	1324,1	1267,1	1254
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	3,465	3,880	4,220	4,325	4,465
7	MQ (kg/mm)	min 200	400,4	346	313,7	293	281,7
8	Stabilitas sisa (%)	80 %	96,2	95,1	92,2	88,3	86,5

Tabel 4.7. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada KAO (100% pasir kali) pada kondisi kepadatan mutlak (2x400) tumbukan

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)				
			1/2	24	48	72	96
1	Density (gr/cc)	-	2,386	2,393	2,388	2,395	2,364
2	VMA (%)	-	16,521	16,286	16,463	16,220	17,312
3	VFB (%)	-	90,488	92,045	90,900	92,486	85,867
4	VIM (%)	2	1,575	1,298	1,506	1,219	2,507
5	Stabilitas (kg)	-	1509,3	1493,6	1480,1	1473	1435,4
6	Kelelahan (mm)	-	3,165	3,545	4,150	4,300	4,445
7	MQ (kg/mm)	-	447,7	421,7	357,4	342,7	324,4
8	Stabilitas sisa (%)	-	98,1	94,8	90	87,5	85,9

Tabel 4.8. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada KAO (50% pasir kali : 50% pasir pantai) kondisi standar (2x75) tumbukan

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)				
			1/2	24	48	72	96
1	Density (gr/cc)	-	2,354	2,348	2,345	2,345	2,338
2	VMA (%)	min 18	17,730	17,932	18,038	18,046	18,261
3	VFB (%)	min 65	69,045	68,080	67,592	67,552	66,599
4	VIM (%)	3 – 6	5,492	5,724	5,846	5,856	6,102
5	Stabilitas (kg)	min 800	1475,4	1424,3	1392,7	1357,4	1316,6
6	Kelelahan (mm)	min 2,0	2,410	2,800	3,105	3,460	3,940
7	MQ (kg/mm)	min 200	618,5	516,4	469,9	393,6	342,8
8	Stabilitas sisa (%)	80 %	93,5	90,3	87,7	85	83,9

Tabel 4.9. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada KAO (50% pasir kali : 50% pasir pantai) kondisi kepadatan mutlak (2x400) tumbukan

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)				
			1/2	24	48	72	96
1	Density (gr/cc)	-	2,446	2,421	2,424	2,390	2,405
2	VMA (%)	-	14,502	15,385	15,267	16,477	15,925
3	VFB (%)	-	87,701	81,889	83,427	75,416	79,001
4	VIM (%)	2	1,784	2,799	2,663	4,052	3,418
5	Stabilitas (kg)	-	1755,7	1726,2	1621,2	1586,3	1508,1
6	Kelelahan (mm)	-	2,910	3,070	3,580	3,900	4,075
7	MQ (kg/mm)	-	610,6	562,2	468,5	408,2	370,1
8	Stabilitas sisa (%)	-	96,6	93,5	90,8	86,2	83,6

Tabel 4.10.Hasil Pengujian Perendaman standard Tahap II pada KAO (100% pasir kali)
kondisi standar (2x75) tumbukan

Perendaman (½ jam)		Perendaman (24 jam)		Perendaman (48 jam)		Perendaman (72 jam)		Perendaman (96 jam)	
Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)
1332,8	100	1276,7	95,79	1220,6	91,58	1142,4	85,71	1096,4	82,27

Tabel 4.11.Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada KAO (100% pasir kali)
kondisi standar (2x75) tumbukan

Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
	r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100 - a) %	A (kg)	S _A = (So - A) kg
24 jam	0,179		2,389		2,062		97,938	27,484	1305,316
48 jam	0,177	0,356	2,362	4,751	4,165	6,227	93,773	55,517	1249,799
72 jam	0,200	0,556	2,663	7,414	7,093	13,320	80,453	94,538	1155,261
96 jam	0,186	0,742	2,475	9,889	8,821	22,142	58,311	117,563	1037,698
Total	0,742		9,889					295,103	742,595

Tabel 4.12.Hasil Pengujian perendaman standard Tahap II pada KAO (100% pasir kali)
pada kondisi kepadatan mutlak (2x400) tumbukan

Perendaman (½ jam)		Perendaman (24 jam)		Perendaman (48 jam)		Perendaman (72 jam)		Perendaman (96 jam)	
Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)
1480,1	100	1416,4	95,69	1331,4	89,95	1288,9	87,08	1233,6	83,34

Tabel 4.13.Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada KAO (100% pasir kali)
pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) tumbukan.

Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
	r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100 - a) %	A (kg)	S _A = (So - A) kg
24 jam	0,183		2,712		2,108		97,892	31,204	1448,896
48 jam	0,212	0,395	3,131	5,843	4,972	7,080	90,812	73,585	1375,311
72 jam	0,181	0,576	2,674	8,517	6,414	13,494	77,318	94,941	1280,370
96 jam	0,174	0,750	2,582	11,099	8,285	21,779	55,539	122,627	1157,743
Total	0,750		11,099		21,779			322,357	835,386

Keterangan

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i}$$

$$R = (r / 100) * S_o$$

$$a = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})]$$

$$S_a = (100 - a) \%$$

$$A = (a / 100) * S_o$$

$$S_A = S_o - A$$

Tabel 4.14.Hasil Pengujian Perendaman standard Tahap II pada KAO (50% pasir kali + 50% pasir pantai) kondisi standar (2x75) tumbukan

Perendaman (½ jam)		Perendaman (24 jam)		Perendaman (48 jam)		Perendaman (72 jam)		Perendaman (96 jam)	
Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)
1379,5	100	1286,5	93,26	1221,1	88,52	1154,3	83,68	1105,07	80,11

Tabel 4.15.Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada KAO (50% pasir kali : 50% pasir pantai) kondisi standar (2x75) tumbukan

Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
	r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100 - a) %	A (kg)	S _A = (So - A) kg
24 jam	0,287		3,955		3,299		96,701	45,506	1333,994
48 jam	0,242	0,529	3,333	7,288	5,678	8,977	87,724	78,330	1255,664
72 jam	0,228	0,757	3,149	10,437	8,104	17,081	70,643	111,790	1143,874
96 jam	0,208	0,965	2,874	13,311	9,895	26,975	43,668	136,496	1007,378
Total		0,965		13,311		26,975		372,123	635,255

Tabel 4.16.Hasil Pengujian perendaman standard Tahap II pada KAO (50% pasir kali + 50% pasir pantai) pada kondisi kepadatan mutlak (2x400) tumbukan

Perendaman (½ jam)		Perendaman (24 jam)		Perendaman (48 jam)		Perendaman (72 jam)		Perendaman (96 jam)	
Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)
1695,8	100	1614,7	95,21	1471,8	86,79	1366,8	80,60	1260,6	74,33

Tabel 4.17.Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada KAO (50% pasir kali + 50% pasir pantai) pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) tumbukan.

Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
	r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100 - a) %	A (kg)	S _A = (So - A) kg
24 jam	0,204		3,453		2,343		97,657	39,728	1656,072
48 jam	0,278	0,482	4,717	8,170	6,537	8,880	88,777	110,852	1545,220
72 jam	0,271	0,753	4,602	12,772	9,633	18,513	70,264	163,363	1381,857
96 jam	0,269	1,022	4,557	17,329	12,766	31,279	38,985	216,486	1165,371
Total		1,022		17,329		31,279		530,430	634,941

Keterangan

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i}$$

$$R = (r / 100) * So$$

$$a = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})]$$

$$Sa = (100 - a) \%$$

$$A = (a / 100) * So$$

$$S_A = So - A$$

4.2 Pembahasan

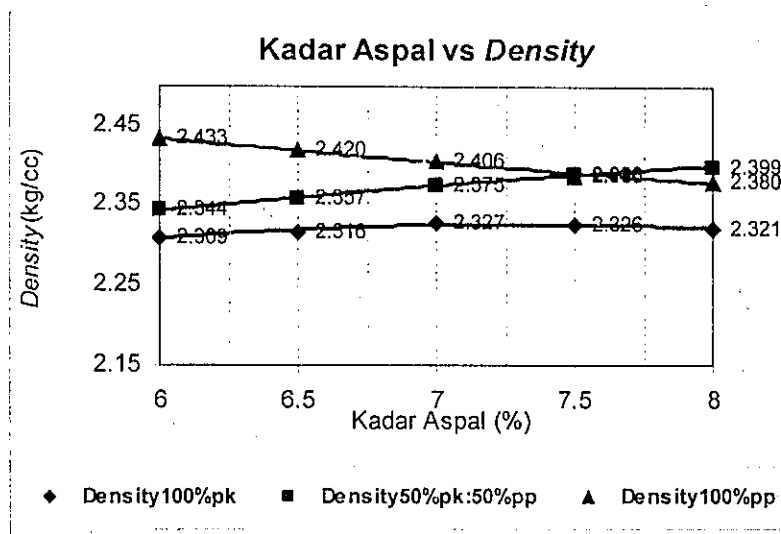
4.2.1. Karakteristik Campuran HRS-WC

a. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Density*.

Nilai *Density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat, dibandingkan pada campuran yang mempunyai *density* rendah. Nilai *density* suatu campuran dipengaruhi oleh gradasi (komposisi bahan susun), energi pemadatan dan kadar aspal. Suatu campuran akan memiliki *density* yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam, kadar aspal tinggi, porositas butiran rendah. Hubungan antara kadar aspal dengan *density* dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.4. dibawah ini.

Tabel 4.18. Kadar Aspal terhadap Nilai *Density*.

Karakteristik	Spesifikasi (gr/cc)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
<i>Density</i> 100% pk	-	2,309	2,316	2,327	2,326	2,321
<i>Density</i> 50% pk : 50% pp	-	2,344	2,357	2,375	2,390	2,399
<i>Density</i> 100% pp	-	2,433	2,420	2,406	2,386	2,380



Gambar 4.4. Grafik hubungan Kadar Aspal vs *Density*

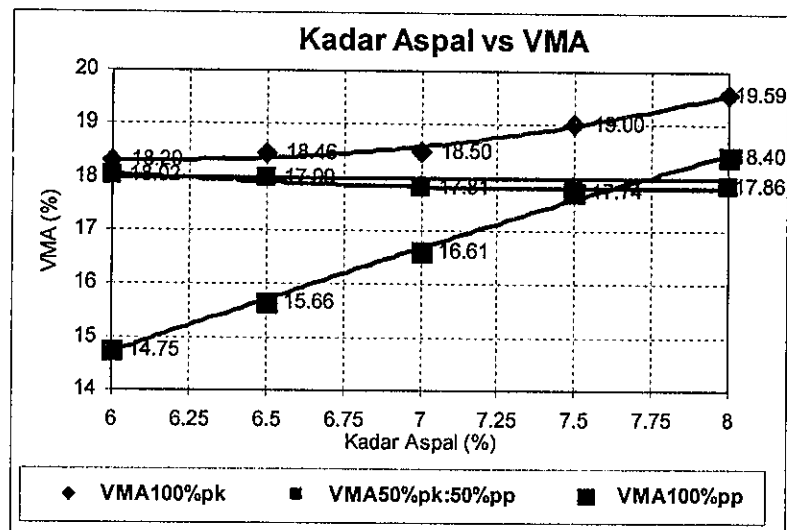
Seperti terlihat pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.4. semakin bertambahnya kadar aspal, semakin rapat campurannya seperti ditunjukkan pada *density* pada 100 % pasir kali dan *density* pada 50% pasir kali + 50% pasir pantai. Hal ini disebabkan karena setiap penambahan kadar aspal, rongga dalam campuran masih dapat terisi oleh aspal sehingga campuran menjadi semakin rapat, kecuali pada *density* pada 100 % pasir pantai *density* menurun, yang disebabkan oleh bentuk butir dari pasir pantai yang seragam dan bulat, serta rongga yang ada didalam campuran menjadi semakin kecil karena sebagian besar telah terisi agregat dan *filler*. Setelah dipadatkan menyebabkan volume benda uji naik dan kerapatan campuran menjadi berkurang yang ditandai turunnya nilai *density*. Nilai *density* untuk 100% pasir kali < dari 50% pasir kali + 50% pasir pantai < 100% pasir pantai, ini disebabkan nilai Berat jenis maksimum teoritis (Gmm) pasir pantai lebih besar dari pada pasir kali. Dalam spesifikasi baru tidak ada persyaratan khusus mengenai tingkat *density*. Pada umumnya nilai *density* dipergunakan dalam persyaratan teknis dilapangan dimana *density* rerata lapisan yang telah selesai dipadatkan tidak boleh kurang dari 96 % *density* laboratorium Sebagai acuan disarankan tingkat *density* > 2 gr/cc.

b. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void in Mineral Agregate (VMA)*.

Void in Mineral Agregate (VMA) adalah rongga udara yang ada diantara partikel agregat di dalam campuran agregat-aspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. *VMA* digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran agregat-aspal. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, energi pemadatan dan kadar *filler*. Hubungan antara kadar aspal dengan *VMA* dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan Gambar 4.5, dibawah ini.

Tabel 4.19. Kadar Aspal terhadap Nilai *VMA*

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
<i>VMA</i> 100%pk	Min 18	18,29	18,46	18,50	19,00	19,59
<i>VMA</i> 50%pk:50%pp	Min 18	18,02	17,99	17,81	17,74	17,86
<i>VMA</i> 100%pp	Min.18	14,75	15,66	16,61	17,74	18,40



Gambar 4.5. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *VMA*

Dari Tabel 4.19. dan Gambar 4.5. di atas dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar aspal, nilai *VMA* campuran semakin membesar, karena rongga-rongga yang terisi oleh aspal semakin banyak seperti ditunjukkan pada *VMA* 100% pasir kali dan 100% pasir pantai, kecuali *VMA* 50% pk+50% pp, *VMA* menurun ini disebabkan nilai kepadatan (*density*) naik, sehingga nilai *VMA* menurun. Nilai *VMA* untuk 100% pasir kali > dari 50% pasir kali + 50% pasir pantai > 100% pasir pantai, ini disebabkan nilai kepadatan (*density*) lebih besar pasir pantai dari pada pasir kali. Dalam penelitian ini nilai *VMA* yang memenuhi syarat > 18 % yaitu pada kadar aspal 6% - 8% untuk 100% pasir kali, kadar aspal 6% - 6,14% untuk (50%pk+50%pp), serta kadar aspal 8% untuk 100% pasir pantai.

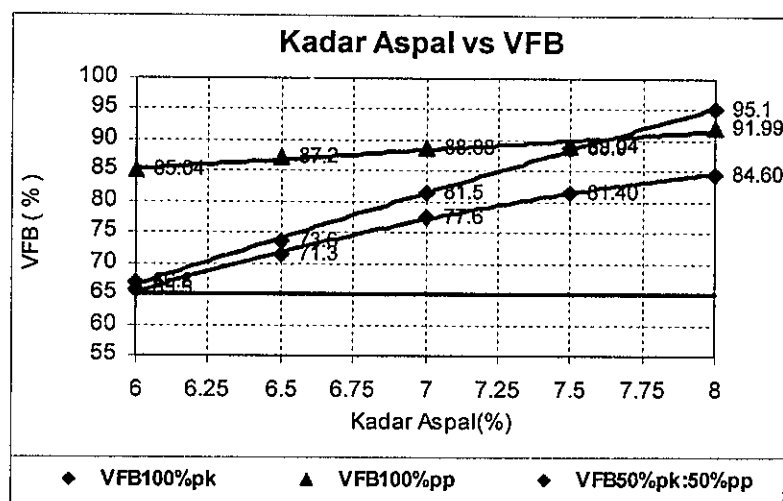
c. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void Filled with Bitumen (VFB)*.

Nilai *VFB* menunjukkan prosentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai *VFB* menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai *VFB* akan menunjukkan semakin kecil nilai *VIM* yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran agregat-aspal akan semakin awet. Begitu sebaliknya apabila *VFB* terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan tipis yang menyebabkan campuran agregat-aspal tidak awet.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VFB* dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.6. dibawah ini :

Tabel 4.20 Kadar Aspal terhadap Nilai *VFB*

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
<i>VFB</i> 100% pk	Min.65	65,5	71,30	77,60	81,40	84,60
<i>VFB</i> 50% pk : 50% pp	Min.65	66,80	73,60	81,50	88,90	95,10
<i>VFB</i> 100% pp	Min.65	85,04	87,20	88,88	89,04	91,99

Gambar 4.6. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *VFB*

Dari Tabel 4.20. dan Gambar 4.6. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran dengan ketiga variasi agregat halus seperti diatas mempunyai nilai *VFB* naik seiring bertambahnya kadar aspal, hal ini disebabkan rongga dalam campuran mengecil karena bertambahnya kadar aspal yang meresap dan menyelimuti butiran agregat. Nilai *VFB* menunjukkan perbandingan jumlah kandungan aspal dan jumlah kandungan rongga didalam campuran. Nilai *VFB* yang rendah berarti jumlah aspal efektif yang mengisi rongga – rongga antar butir agregat sedikit, berarti rongga udaranya besar. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran. Sebaliknya nilai *VFB* yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding* karena rongga antar butiran terlalu kecil.

Dalam penelitian ini *VFB* yang memenuhi syarat $> 65\%$, semua kadar aspal dari 6% sampai 8% untuk semua variasi agregat halus memenuhi persyaratan.

d. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void In the Mix (VIM)*

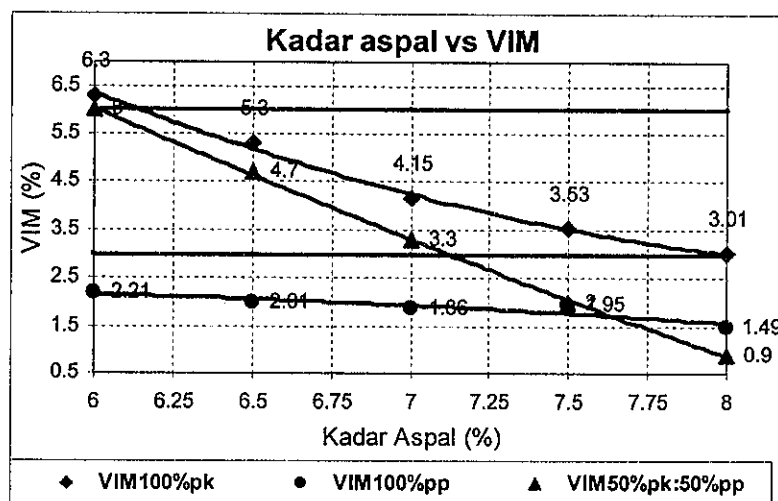
VIM menyatakan banyaknya prosentase rongga dalam campuran total. Nilai rongga dalam campuran dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran beraspal panas,

dengan bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butiran agregat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran semakin berkurang.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VIM* dapat dilihat pada Tabel 4.21, dan Gambar 4.7, dibawah ini :

Tabel 4.21. Kadar Aspal terhadap Nilai *VIM* campuran *HRS-WC*

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
<i>VIM</i> 100% pk	3 - 6	6,30	5,30	4,15	3,53	3,01
<i>VIM</i> 50% pk : 50% pp	3 - 6	6,00	4,70	3,30	2,00	0,90
<i>VIM</i> 100% pp	3 - 6	2,21	2,01	1,86	1,95	1,49



Gambar 4.7. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *VIM*

Dari Tabel 4.21. dan Gambar 4.7. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran dengan ketiga variasi agregat halus seperti diatas, Nilai *VIM* antara 3% - 6%. Nilai *VIM* yang rendah, dibawah 3% berarti rongga pada campuran relatif kecil, menjadikan tidak tersedianya ruang yang cukup, menyebabkan aspal akan naik ke permukaan (*bleeding*). Sebaliknya untuk nilai *VIM* yang tinggi diatas 6 % akan menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara, sehingga campuran beraspal panas tersebut kurang awet dan mudah retak (*crack*).

Dalam penelitian ini nilai *VIM* yang memenuhi syarat (3% - 6%), yaitu pada kadar aspal 6,2% - 8% untuk 100% pasir kali, kadar aspal 6% - 7,125% untuk (50%pk+50%pp), untuk agregat halus dari pasir pantai tidak ada yang memenuhi persyaratan..

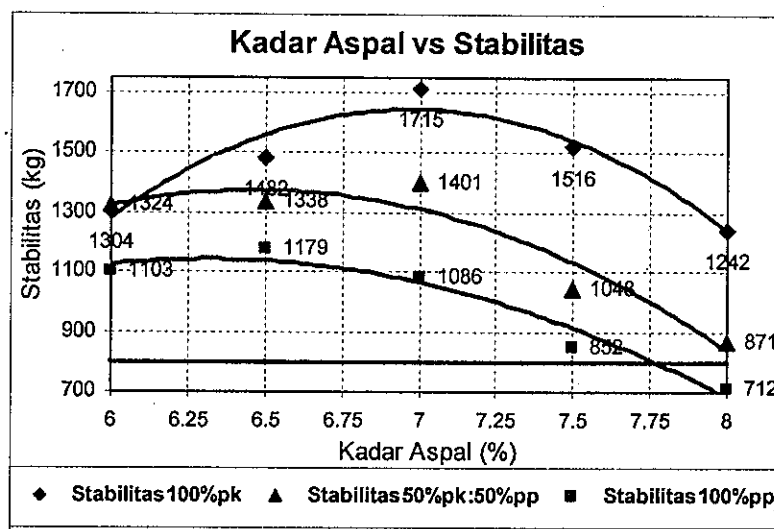
e. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Stabilitas

Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh bahan susun campuran agregat-aspal yang dinyatakan dalam satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas. Spesifikasi Baru menetapkan untuk lapis Lataston *HRS-WC* yang dilalui oleh > 1.000.000 *ESA*, stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.22, dan Gambar 4.8, dibawah ini :

Tabel 4.22 Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas campuran *HRS-WC*

Karakteristik	Spesifikasi (kg)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
Stabilitas 100% pk	Min. 800	1304	1482	1715	1516	1242
Stabilitas 50% pk : 50% pp	Min. 800	1324	1338	1401	1048	871
Stabilitas 100% pp	Min. 800	1103	1179	1086	852	712



Gambar 4.8. Grafik hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas

Dari Tabel 4.22. dan Gambar 4.8. diatas dapat dilihat pada campuran yang berada diatas stabilitas minimal 800 kg yang disyaratkan, untuk variasi 100% pasir kali dan (50%pk+50%pp), sedangkan untuk 100% pasir pantai diatas kadar aspal 7,75% tidak memenuhi syarat. Hal ini terkait pada kinerja nilai *Density*, *VFA*, *VFA*, *VIM*, seperti ditunjukkan pada kadar aspal 6% stabilitas naik sampai kadar aspal 7%. Selanjutnya stabilitas turun yang menunjukkan terlalu besar tebal film aspal yang menyelimuti agregat, sehingga stabilitas menjadi menurun. Secara keseluruhan

stabilitas naik dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas tertentu, begitu juga apabila penambahan kadar aspal melebihi batas justru akan menurunkan nilai stabilitas.

f. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Flow*.

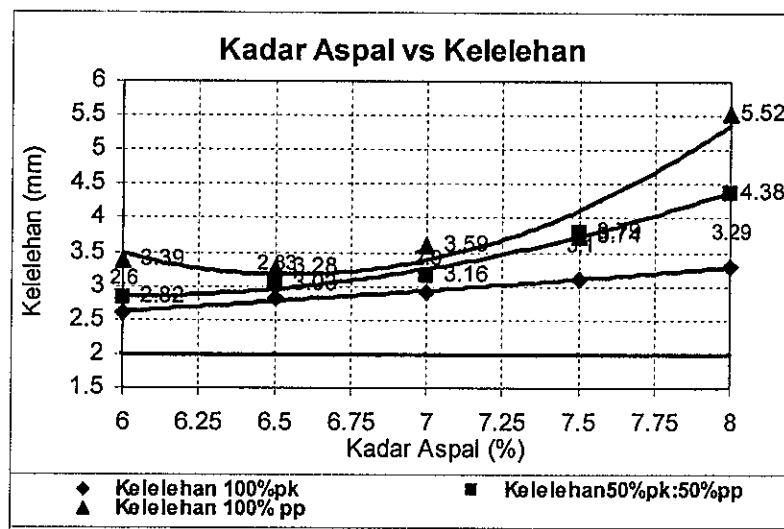
Kelelehan (*Flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas.

Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji, campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dan stabilitas tinggi akan cenderung menghasilkan campuran yang kaku dan getas, sehingga akan mudah retak apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis, hingga mudah berubah bentuk (*deformasi plastis*) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Tabel 4.23, dan Gambar 4.9. dibawah ini :

Tabel 4.23. Kadar Aspal terhadap Nilai kelelehan (*Flow*)

Karakteristik	Spesifikasi (mm)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
Kelelehan 100% pk	Min. 2	2,60	2,83	2,90	3,10	3,29
Kelelehan 50% pk : 50% pp	Min. 2	2,82	3,03	3,16	3,79	4,38
Kelelehan 100% pp	Min. 2	3,39	3,28	3,59	3,74	5,52



Gambar 4.9. Grafik hubungan Kadar Aspal dan Kelelehan

Dari Tabel 4.23. dan Gambar 4.9. diatas dapat dilihat bahwa pada ketiga variasi campuran sesuai spesifikasi berada diatas *flow* minimal 2 mm yang disyaratkan. Dengan penambahan kadar aspal maka nilai *flow* juga naik, hal ini disebabkan dengan bertambahnya kadar aspal, campuran menjadi semakin plastis. Sesuai sifat aspal sebagai bahan pengikat, maka semakin banyak aspal menyelimuti batuan semakin baik ikatan antara agregat dengan aspal yang menyebabkan nilai *flow* menjadi tinggi. Nilai *flow* maksimum tercapai pada kadar aspal 8%. Dari hasil penelitian dapat dilihat pada ketiga variasi, semua kadar aspal dari 6% - 8% nilai *flow* memenuhi spesifikasi diatas 2%.

g. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Marshall Quotient*

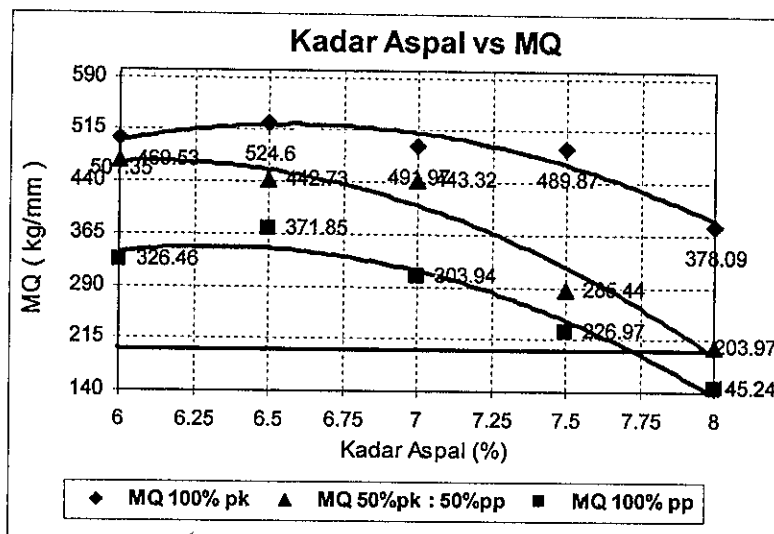
Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran agregat-aspal. Besarnya nilai *MQ* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran (*frictional resistance*) dan saling mengunci antar butiran (*interlocking*) yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun.

Campuran yang memiliki nilai *MQ* yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki nilai *MQ* tinggi campuran agregat-aspal akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai *MQ* adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *MQ* dapat dilihat pada Tabel 4.24. dan Gambar 4.10. dibawah ini :

Tabel 4.24. Kadar Aspal terhadap Nilai *Marshall Quotient* campuran HRS-WC

Karakteristik	Spesifikasi (kg/mm)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
<i>MQ</i> 100 % pk	Min.200	501,35	524,60	491,97	489,87	378,09
<i>MQ</i> 50% pk : 50% pp	Min.200	469,53	442,32	443,32	285,44	203,97
<i>MQ</i> 100 % pp	Min.200	326,46	371,85	303,94	226,97	145,24



Gambar 4.10. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *Marshall Quotient*

Dari Tabel 4.24. dan Gambar 4.10. diatas dapat dilihat bahwa pada ketiga variasi campuran sesuai spesifikasi berada diatas MQ minimal 200 kg/mm yang disyaratkan, kecuali untuk MQ 100% pp untuk kadar aspal 7,75% dibawah persyaratan. Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, menunjukkan campuran akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas. Sedangkan campuran yang memiliki nilai MQ tinggi cenderung bersifat kaku dan kurang lentur.

4.2.2 Evaluasi Hasil laboratorium terhadap Karakteristik Campuran HRS-WC Tahap I terhadap Spesifikasi

Dari hasil pengujian bahan susun untuk ketiga variasi agregat halus campuran HRS-WC didapat hasil rekapitulasi yang memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi.

Dari nilai karakteristik ketiga campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1., 4.2., 4.3.

Variasi agregat halus yang memenuhi syarat untuk 100% pasir kali : VMA ; VFB pada kadar aspal 6% - 8%, sedang VIM pada kadar aspal 6,2% - 8% dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas, *flow*, dan MQ , maka ditentukan kadar aspal optimum 7,1 %.

Untuk variasi 50% pasir kali + 50% pasir pantai : VMA pada kadar aspal 6% - 6,14%; VFB pada kadar aspal 6% - 8%, sedang VIM pada kadar aspal 6% - 7% dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas, *flow* dan MQ , maka ditentukan kadar aspal optimum 6,07 %.

Ada kesan analisa *void* untuk variasi 50% pk + 50% pp selalu memotong variasi gradasi yang lain, ini karena pengaruh material pasir pantai yang mempunyai tingkat keseragaman yang sama serta berat jenis yang lebih tinggi dari pasir kali, sehingga dengan meningkatnya kadar aspal *density* menjadi meningkat, *VMA* menurun, *VFA* meningkat tajam, *VIM* menurun tajam.

Untuk variasi 100 % pasir pantai : *VMA* pada kadar aspal 8 %; *VFB* pada kadar aspal 6% - 8%, sedang *VIM* terlalu rendah tidak ada yang memenuhi persyaratan 3% - 6% dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas, *flow* dan *MQ*, tidak memenuhi syarat sehingga tidak ditindak lanjuti pada penelitian tahan kedua.

Selanjutnya dilaksanakan pembahasan Tahap kedua untuk mencari *Marshall* dan Perendaman Modifikasi campuran pada kadar aspal optimum untuk masing-masing variasi agregat halus, yaitu 100% pasir kali dan 50% pasir kali + 50% pasir pantai, dengan membuat variasi lama perendaman (1/2, 24, 48, 72, 96) jam pada tumbukan standard (2 x 75) tumbukan, dan campuran pada kepadatan mutlak (2 x 400) tumbukan.

4.2.3 Karakteristik *Marshall* Tahap II pada kondisi standard dan kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman untuk variasi 100% pasir kali dan 50% pasir kali + 50% pasir pantai

- a. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *density* pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400).

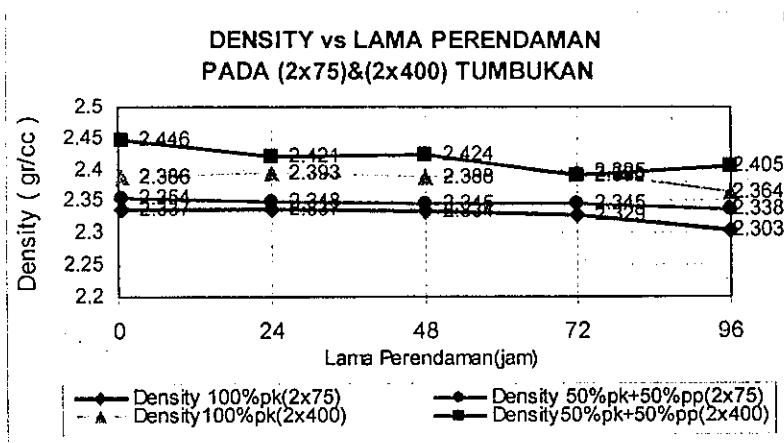
Nilai *density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah gradasi agregat, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal, porositas butiran. Campuran dengan kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih tinggi. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *density* pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400) dapat dilihat pada Tabel 4.25. dan Tabel 4.26. serta Gambar 4.11. berikut ini :

Tabel 4.25. Pengaruh nilai *density* terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Karakteristik	Syarat (gr/cc)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>Density</i> 100% pk	-	2,337	2,337	2,334	2,329	2,303
<i>Density</i> 50% pk + 50% pp	-	2,354	2,348	2,345	2,345	2,338

Tabel 4.26. Pengaruh nilai *density* terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Karakteristik	Syarat (gr/cc)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>Density</i> 100% pk	-	2,386	2,393	2,388	2,395	2,364
<i>Density</i> 50% pk + 50% pp	-	2,446	2,421	2,424	2,390	2,405



Gambar 4.11. Grafik hubungan nilai *density* terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Seperti terlihat pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26, serta Gambar 4.11. Nilai *density* pada kondisi kepadatan mutlak lebih tinggi daripada kondisi standar, ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi selanjutnya menurunkan nilai rongga dalam campuran, sehingga air akan sulit masuk. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *density* baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak, kecuali pada gradasi 100% pasir kali kondisi kepadatan mutlak (2x400) *density* naik karena rongga dalam campuran rendah. Hal ini disebabkan campuran tidak mampu untuk mempertahankan kerapatannya, karena melemahnya ikatan antar agregat - aspal sebagai bahan pengikat karena pengaruh perendaman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *density* untuk 100% pasir kali pada kondisi standar dengan durasi perendaman ½ jam adalah 2,337 gr/cc menurun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 2,304 gr/cc. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak durasi perendaman ½ jam adalah 2,386 gr/cc menurun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 2,364 gr/cc. Sedangkan *density* untuk 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standar dengan durasi perendaman ½ jam adalah 2,354 gr/cc menurun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 2,338 gr/cc. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam 2,446 gr/cc menurun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 2,405 gr/cc. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *density* pada kadar Aspal optimum dan kondisi (2x75 dan 2x400) tumbukan. Menunjukkan nilai *density* masih berada > 2 gr/cc, untuk variasi gradasi 50% pk+50%pp kondisinya lebih baik dari gradasi 100%pp, hal ini disebabkan karena bentuk tekstur pasir pantai yang bulat dan solid serta lebih keras dari pasir kali.

- b. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VMA* pada kondisi standar (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400).

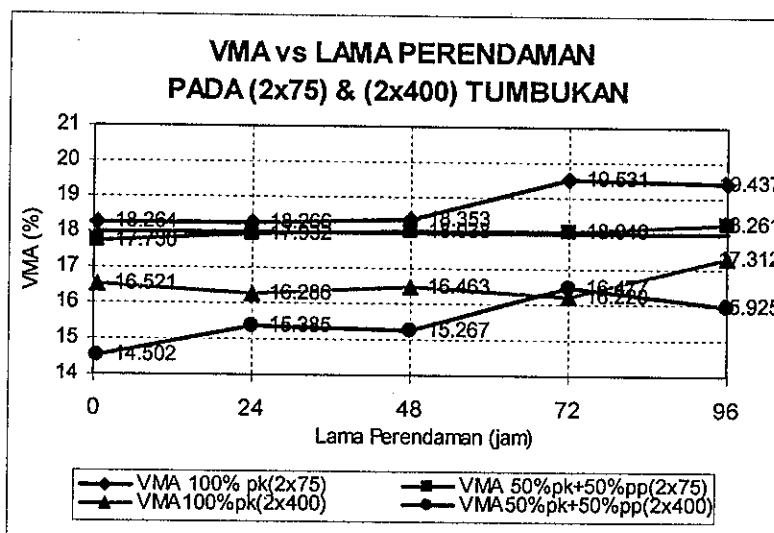
VMA adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran agregat-aspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. *VMA* digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran agregat-aspal. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VMA* pada kondisi standar (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400) dilihat pada Tabel 4.27, dan Tabel 4.28. serta Gambar 4.12, diberikan ini :

Tabel 4.27. Pengaruh nilai *VMA* terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>VMA</i> 100% pk	Min 18	18,264	18,266	18,353	19,531	19,437
<i>VMA</i> 50% pk + 50% pp	Min 18	17,730	17,932	18,038	18,046	18,261

Tabel 4.28. Pengaruh nilai *VMA* terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>VMA</i> 100% pk	-	16,521	16,286	16,463	16,220	17,312
<i>VMA</i> 50% pk + 50% pp	-	14,502	15,385	15,267	16,477	15,925



Gambar 4.12. Grafik hubungan nilai *VMA* terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Dari Tabel 4.27, dan Tabel 4.28. serta Gambar 4.12, di atas dapat dilihat bahwa Nilai *VMA* pada kondisi kepadatan mutlak lebih rendah daripada kondisi standard, ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi. Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai *VMA*, baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini menunjukkan bahwa rongga antar agregat menjadi membesar, yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat melemah, akibatnya terjadi *swelling* (mengembang), ini karena tingkat kadar air terlalu tinggi, Hasil pengujian menunjukkan bahwa *VMA* untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½jam adalah

18,264 %, naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 19,437%. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam 16,521% naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 17,312%. Sedangkan *VMA* untuk 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½jam adalah 17,73% naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 18,261%. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 14,502% naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 15,925%. Nilai *VMA* yang besar akan menjadikan campuran tidak stabil saat dibebani lalu lintas yang pada akhirnya akan mengakibatkan terjadi deformasi plastis, demikian sebaliknya apabila nilai *VMA* terlalu kecil akan menjadikan campuran mengalami *bleeding* karena kekurangan ruang untuk aspal dan rongga udara. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *VMA* pada kadar Aspal optimum dan kondisi (2x75) tumbukan, menunjukkan nilai *VMA* masih berada > 18 %, kecuali pada gradasi 50%pk+50%pp kondisi standar (2x75) *VMA* dibawah 18%, sehingga dimungkinkan campuran menjadi tidak stabil karena kurangnya ruang untuk kadar aspal dan rongga udara.

- c. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VFB* pada kondisi standard (2x75) dan Kepadatan mutlak (2x400).

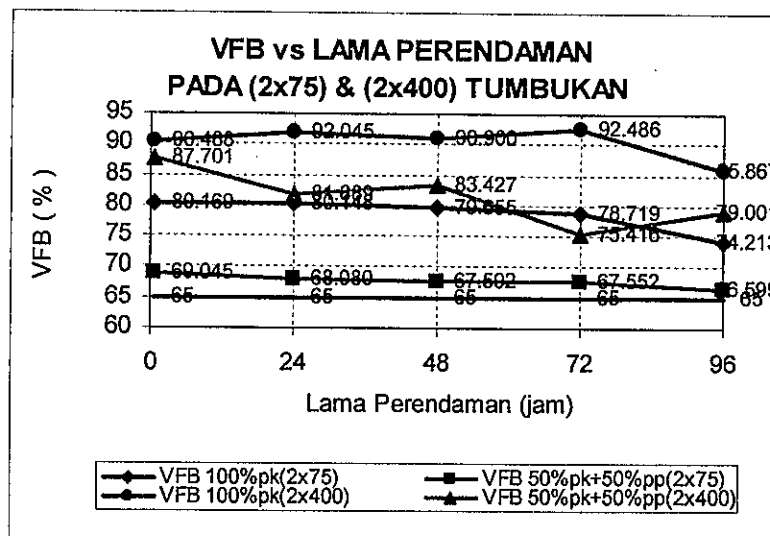
Nilai *VFB* menunjukkan prosentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai *VFB* menentukan keawetan suatu campuran agregat-aspal, semakin besar nilai *VFB* akan menunjukan semakin kecil nilai *VIM* yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran agregat-aspal akan semakin awet. Begitu sebaliknya apabila *VFB* terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan tipis menyebabkan campuran tidak awet. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VFB* pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400) dapat dilihat pada Tabel 4.29, dan Tabel 4.30. serta Gambar 4.13.. berikut ini :

Tabel 4.29. Pengaruh nilai *VFB* terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>VFB</i> 100% pk	Min 65	80,169	80,148	79,655	78,719	74,213
<i>VFB</i> 50% pk + 50% pp	Min 65	69,045	68,080	67,592	67,552	66,599

Tabel 4.30. Pengaruh nilai *VFB* terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>VFB</i> 100% pk	-	90,488	92,045	90,900	92,486	85,867
<i>VFB</i> 50% pk + 50% pp	-	87,701	81,889	83,427	75,416	79,001



Gambar 4.13. Grafik hubungan nilai *VFB* terhadap lama perendaman pada kondisi standar (2x75) dan kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Dari Tabel 4.29. dan Tabel 4.30. serta Gambar 4.13. di atas dapat dilihat bahwa Nilai *VFB* pada kondisi kepadatan mutlak lebih tinggi daripada kondisi standar, ini disebabkan peningkatan energi pemadatan yang lebih tinggi sehingga aspal yang memasuki rongga rongga dalam campuran semakin banyak karena terjadi pemampatan, yang mengakibatkan *VFB* kepadatan mutlak naik. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *VFB*, baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, menyebabkan aspal menjadi plastis, yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat melemah akibatnya terjadi *swelling* (mengembang), sedangkan kadar aspalnya tetap maka *VFB* menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *VFB* untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standar dengan durasi perendaman ½ jam adalah 80,169 %, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 74,213%. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 90,488% turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 85,867%. Sedangkan *VFB* untuk 50% pasir kali + 50%

pasir pantai pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½ jam adalah 69,045% turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 66,599%. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 87,701% turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 79,001%. Nilai *VFB* yang besar menunjukkan agregat terselimuti aspal secara sempurna sehingga campuran akan lebih kedap air, sehingga tidak mudah teroksidasi yang pada akhirnya akan meningkatkan durabilitas campuran, demikian sebaliknya apabila nilai *VFB* kecil kekedapan campuran terhadap air akan berkurang sehingga mudah teroksidasi yang selanjutnya akan menurunkan durabilitas campuran serta akan mengakibatkan mudah terjadi deformasi plastis. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *VFB* pada kadar Aspal optimum dan kondisi (2x75) tumbukan. Menunjukkan nilai *VFB* diatas masih berada > 65 %, untuk nilai *VFB* 100% pk lebih besar dari *VFB* 50% pk+ 50% pp, ini disebabkan karena kadar aspal optimum gradasi 100% pk lebih tinggi dari pada gradasi 50% pk+ 50% pp.

- d. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VIM* pada kondisi standard (2x75) dan Kepadatan mutlak (2x400).

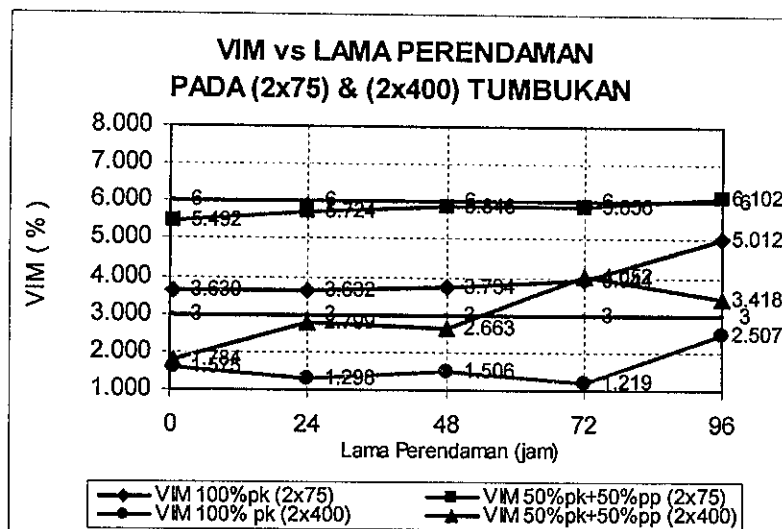
VIM dalam menganalisa rongga merupakan syarat paling penting, selain *VMA* dan *VFB* sebagai dasar dari perencanaan perhitungan pada tahap II (lama perendaman pada 2x75 dan 2x400 tumbukan pada kadar aspal optimum). *VIM* menyatakan banyaknya prosentase rongga dalam campuran total. Nilai rongga dalam campuran dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran, dengan bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butiran agregat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran semakin berkurang. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VIM* pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400) dapat dilihat pada Tabel 4.31. dan Tabel 4.32. serta Gambar 4.14. berikut ini :

Tabel 4.31. Pengaruh nilai *VIM* terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>VIM</i> 100% pk	3 -6	3,630	3,632	3,734	3,944	5,012
<i>VIM</i> 50% pk + 50% pp	3 - 6	5,492	5,724	5,846	5,856	6,102

Tabel 4.32. Pengaruh nilai *VIM* dengan terhadap perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>VIM</i> 100% pk	2	1,575	1,298	1,506	1,219	2,507
<i>VIM</i> 50% pk + 50% pp	2	1,784	2,799	2,663	4,052	3,418



Gambar 4.14. Grafik hubungan nilai *VIM* terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Dari Tabel 4.31. dan Tabel 4.32. serta Gambar 4.14. di atas dapat dilihat bahwa Nilai *VIM* pada kondisi kepadatan mutlak lebih rendah daripada kondisi standard, ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi selanjutnya menurunkan nilai rongga dalam campuran, yang mengakibatkan *VIM* kepadatan mutlak turun. Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai *VIM*, baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini menunjukkan bahwa rongga antar agregat menjadi membesar, yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat melemah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *VIM* untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½jam adalah 3,63%, naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 5,012%. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 1,575% naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 2,507%. Sedangkan *VIM* untuk 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½jam adalah 5,492% naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 6,102%. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 1,784% naik

pada durasi perendaman 96 jam menjadi 3,418%. Nilai *VIM* yang besar mengindikasikan campuran bersifat porous sehingga mudah terjadi oksidasi yang selanjutnya dapat menurunkan durabilitas, serta mudah mengalami deformasi plastis. Namun apabila nilai *VIM* terlalu kecil, juga tidak menguntungkan karena tidak menyediakan ruang yang cukup untuk menerima penambahan pemadatan akibat beban lalu lintas, sehingga pada akhirnya memungkinkan terjadinya *bleeding*. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *VIM* pada kadar Aspal optimum nilai *VIM* berada antara 3% - 6%. Sedangkan pada kondisi (2x400) tumbukan nilai *VIM* pada perendaman 24 jam, nilai *VIM* terlalu kecil < 2%, ini disebabkan pemilihan kadar aspal optimum diambil nilai tengahnya, sebaiknya diambil sedikit dibawah nilai tengahnya.

- e. Pengaruh lama perendaman terhadap terhadap nilai Stabilitas pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400).

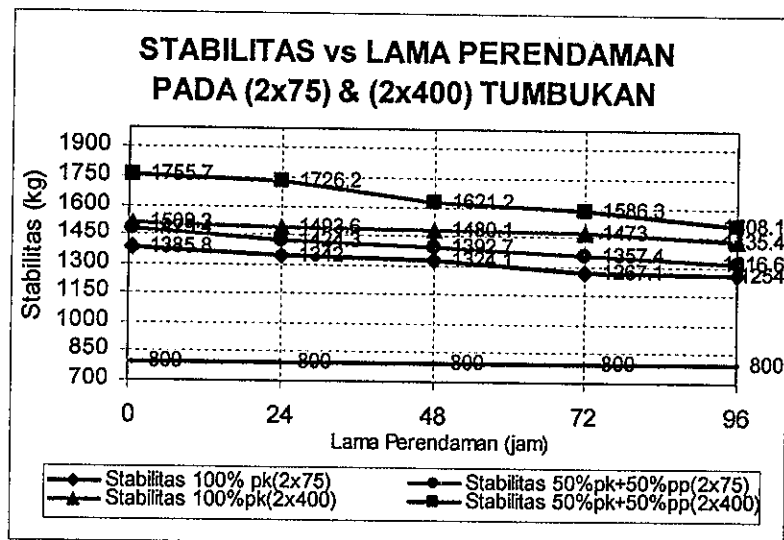
Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh bahan susun campuran yang dinyatakan dalam satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas. Stabilitas minimum Campuran *HRS-WC* yang disyaratkan adalah 800 kg, Lapis Lataston *HRS-WC* dengan stabilitas dibawah 800 kg akan mudah terjadi alur (*rutting*) bila dilalui kendaraan berat. Pengaruh lama perendaman terhadap terhadap nilai Stabilitas pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.33, dan Tabel 4.34. serta Gambar 4.15. berikut ini :

Tabel 4.33. Pengaruh nilai Stabilitas terhadap lama perendaman kondisi standard (2x75)

Karakteristik	Syarat (kg)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
Stabilitas 100% pk	Min 800	1385,8	1342	1324,1	1267,1	1254
Stabilitas 50%pk +50% pp	Min 800	1475,4	1424,3	1392,7	1357,4	1316,6

Tabel 4.34. Pengaruh nilai Stabilitas terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Karakteristik	Syarat (kg)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
Stabilitas 100% pk	-	1509,3	1493,6	1480,1	1473	1435,4
Stabilitas 50%pk +50% pp	-	1755,7	1726,2	1621,2	1586,3	1508,1



Gambar 4.15. Grafik hubungan nilai Stabilitas terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Dari Tabel 4.33, dan Tabel 4.34. serta Gambar 4.15, di atas dapat dilihat bahwa Nilai Stabilitas pada kondisi kepadatan mutlak lebih tinggi daripada kondisi standard, hal ini terjadi karena adanya peningkatan energi pemadat akan menyebabkan campuran menjadi lebih rapat dan mampat sehingga gesekan antar butiran (*internal friction*) meningkat begitu *interlocking* antar butiran juga semakin bertambah. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai Stabilitas, baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat volume benda uji naik, sehingga kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan gesekan antar butiran menjadi turun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½ jam adalah 1385,8 kg, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 1254 kg. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 1509,3 kg turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 1435,4 kg. Sedangkan stabilitas untuk 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½ jam adalah 1475,4 kg turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 1316,6 kg. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 1755,7 kg turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 1508,1 kg. Nilai Stabilitas adalah ukuran kemampuan dari campuran untuk menahan deformasi plastis dari beban lalu lintas, semakin besar nilai stabilitas

mengindikasikan bahwa campuran akan lebih kokoh dan lebih tahan terjadinya deformasi plastis dan akan lebih awet. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai stabilitas pada kadar Aspal optimum untuk kedua variasi agregat 100% pk dan agregat 50%pk + 50%pp dapat diterima oleh karena nilai stabilitasnya > 800 kg.

- f. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *flow* pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400).

Kelelahan (*Flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas.

Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji, campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi akan cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas (*brittle*), sehingga akan mudah retak (*crack*) apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

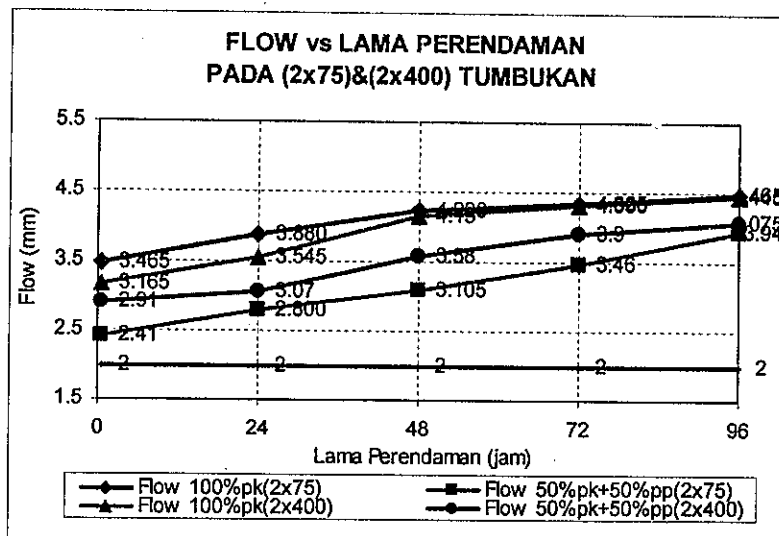
Pengaruh lama perendaman terhadap terhadap nilai *Flow* pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.35, dan Tabel 4.36. serta Gambar 4.16., berikut ini :

Tabel 4.35. Pengaruh nilai *Flow* terhadap perendaman pada kondisi standard (2x75)

Karakteristik	Syarat (mm)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>Flow</i> 100% pk	Min 2	3,465	3,880	4,220	4,325	4,465
<i>flow</i> pk + 50% pp	Min 2	2,410	2,800	3,105	3,460	3,940

Tabel 4.36. Pengaruh nilai *Flow* terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Karakteristik	Syarat (mm)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>Flow</i> 100% pk	-	3,165	3,545	4,150	4,300	4,445
<i>flow</i> pk + 50% pp	-	2,910	3,070	3,580	3,900	4,075



Gambar 4.16. Grafik hubungan nilai *Flow* terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Dari Tabel 4.35, dan Tabel 4.36. serta Gambar 4.16, di atas dapat dilihat bahwa Nilai *Flow* pada kondisi kepadatan mutlak lebih rendah daripada kondisi standard, ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi mengakibatkan rongga dalam campuran kecil, stabilitas tinggi, selanjutnya akan meningkatkan kekakuan campuran yang pada akhirnya memperkecil nilai *Flow* pada kepadatan mutlak. Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai *Flow*, baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Flow* untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½ jam adalah 3,465 mm, naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 4,465 mm. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 3,165 mm naik pada durasi perendaman 96 jam mejadi 4,445 mm. Sedangkan *Flow* untuk 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½ jam adalah 2,410 mm naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 3,940 mm. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 2,910 mm naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 4,075 mm. Nilai *flow* dapat dihubungkan dengan nilai stabilitas, apabila nilai *flow* besar dan nilai stabilitas rendah, maka mengindikasikan bahwa campuran akan mudah mengalami deformasi plastis apabila menerima beban lalulintas yang tinggi dan berat. Nilai *flow* yang kecil dan stabilitas yang tinggi mengindikasikan meningkatnya tahanan geser campuran serta memperkecil pengaruh defomasi

plastis. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *Flow* pada dan kondisi (2x75) tumbukan pada kondisi kepadatan mutlak (2x400) tumbukan diatas, masih berada > 2 mm.

- g. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *Marshall Quotient* pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai *MQ* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran dan saling mengunci antar butiran yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh, kadar aspal, gradasi bahan susun, dan jumlah tumbukan.

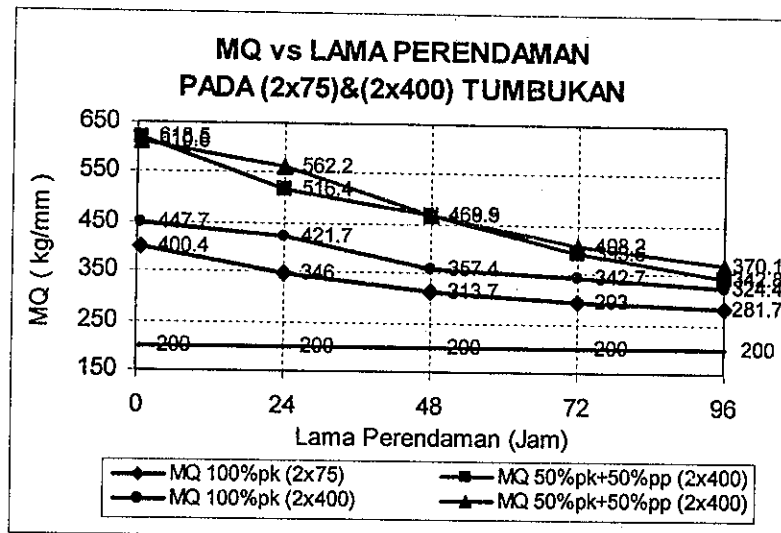
Campuran yang memiliki nilai *MQ* yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki nilai *MQ* tinggi campuran agregat - aspal akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai *MQ* adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan. Pengaruh lama perendaman terhadap terhadap nilai *MQ* pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.37, dan Tabel 4.38, serta Gambar 4.17, berikut ini :

Tabel 4.37. Pengaruh nilai *MQ* terhadap lama perendaman kondisi standard (2x75)

Karakteristik	Syarat (kg/mm)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>MQ</i> 100% pk	Min 200	400,4	346	313,7	293	281,7
<i>MQ</i> pk + 50% pp	Min 200	618,5	516,4	469,9	393,6	342,8

Tabel 4.38. Pengaruh nilai *MQ* terhadap lama perendaman pada *refusal density* (2x400)

Karakteristik	Syarat (kg/mm)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
<i>MQ</i> 100% pk	-	447,7	421,7	357,4	342,7	324,4
<i>MQ</i> pk + 50% pp	-	610,6	562,2	468,5	408,2	370,1



Gambar 4.17. Grafik hubungan nilai MQ terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)

Dari Tabel 4.37, dan Tabel 4.38, serta Gambar 4.17., di atas dapat dilihat bahwa Nilai MQ pada kondisi kepadatan mutlak lebih tinggi daripada kondisi standard, hal ini terjadi karena adanya peningkatan energi pemadat akan menyebabkan kenaikan stabilitas dan menurunkan nilai $flow$ serta meningkatkan kekakuan dari campuran. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai MQ , baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan gesekan antar butiran menjadi turun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa MQ untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standard dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 400,4 kg/mm, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 281,7 kg/mm. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 447,7 kg/mm turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 324,4 kg/mm. Sedangkan MQ untuk 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standard dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 618,5 kg/mm turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 342,8 kg/mm. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 610,6 kg/mm turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 370,1 kg/mm. Nilai MQ adalah ukuran untuk memprediksi sifat fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai MQ maka campuran akan semakin kaku dan tahan terhadap deformasi plastis, demikian pula sebaliknya campuran akan bersifat fleksibel

apabila memiliki nilai MQ rendah. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai MQ pada kadar Aspal optimum untuk kedua variasi agregat 100% pk dan agregat 50%pk + 50%pp. dapat diterima, oleh karena nilai MQ berada > 200kg/mm.

- h. Pengaruh lama perendaman terhadap Durabilitas (IRS) pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400).

Nilai Indeks Stabilitas Sisa (IRS) diperoleh dengan membandingkan antara nilai stabilitas pada kondisi standar yaitu direndam dalam *water bath* pada suhu $60^{\circ}C$ selama 30 (tigapuluh) menit dengan kondisi perendaman yang sama selama 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam, ini mengindikasikan pendekatan terhadap keawetan (durabilitas) dari suatu campuran agregat - aspal. Spesifikasi untuk campuran $HRS-WC$, merekomendasikan bahwa indeks stabilitas sisa pada perendaman 24 jam pada suhu $60^{\circ}C$, harus lebih tinggi dari 80 %, sedangkan untuk lama perendaman diatas 24 jam, tidak ada standardnya.

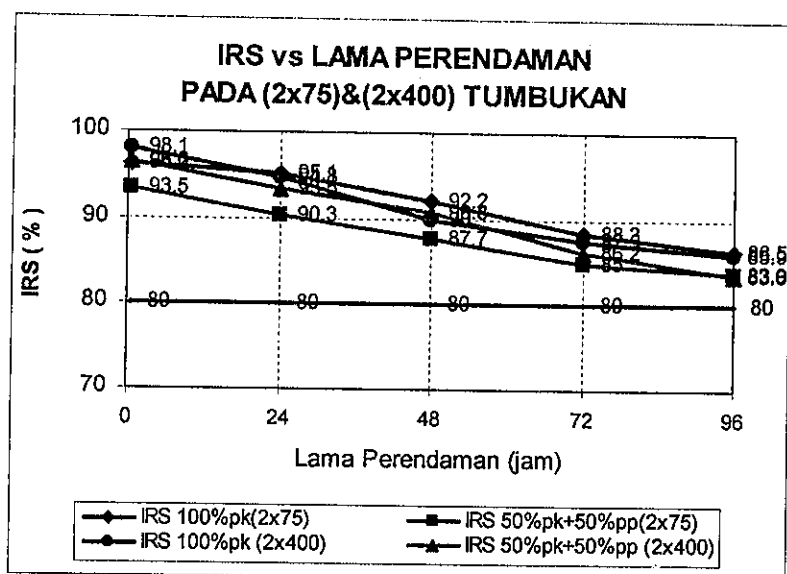
Pengaruh lama perendaman terhadap terhadap nilai IRS pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.39, dan Tabel 4.40, serta Gambar 4.18 diberikut ini :

Tabel 4.39. Pengaruh nilai IRS terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
IRS 100% pk	Min 80	96,2	95,1	92,2	88,3	86,5
IRS pk + 50% pp	Min 80	93,5	90,3	87,7	85	83,9

Tabel 4.40. Pengaruh nilai IRS terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
IRS 100% pk	-	98,1	94,8	90	87,5	85,9
IRS pk + 50% pp	-	96,6	93,5	90,8	86,2	83,6



Gambar 4.18. Grafik hubungan nilai *IRS* terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75) dan kondisi Kepadatan mutlak (2x400)

Dari Tabel 4.39, dan Tabel 4.40, serta Gambar 4.18., di atas dapat dilihat Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *IRS*, baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan daya ikat aspal terhadap agregat menjadi turun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *IRS* untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standar dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 96,2 %, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 86,5 %. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 98,1 % turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 85,9 %. Sedangkan *IRS* untuk 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standar dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 93,5 % turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 83,9 %. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 96,6% turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 83,6%. Nilai *IRS* adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin kecil nilai *IRS* maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya ikatan aspal dan agregat akan berkurang yang pada akhirnya akan menurunkan nilai *IRS*. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap

nilai *IRS* pada kadar Aspal optimum untuk kedua variasi agregat 100% pk dan agregat 50%pk + 50%pp dapat diterima, oleh karena nilai *IRS* berada > 80%.

4.2.4. Karakteristik Perendaman Modifikasi Campuran *HRS-WC* terhadap lama perendaman.

Pola pengembangan parameter tunggal yang dapat menggambarkan kondisi durabilitas suatu campuran, setelah melalui serangkaian periode perendaman tertentu. Parameter ini dinamakan indeks durabilitas dan terdiri dari dua jenis, yaitu indeks durabilitas pertama dan indeks durabilitas kedua. Dalam metoda ini tidak ada batasan jumlah dan lama perendaman.

a. Indeks Durabilitas Pertama

Indeks durabilitas pertama, dinotasikan dengan r (%), didefinisikan sebagai jumlah kemiringan dari setiap bagian yang berurutan dari kurva durabilitas. Nilai r positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, nilai negatif menyatakan penambahan kekuatan. Nilai mutlak dari kekuatan yang dibobotkan R (kg).

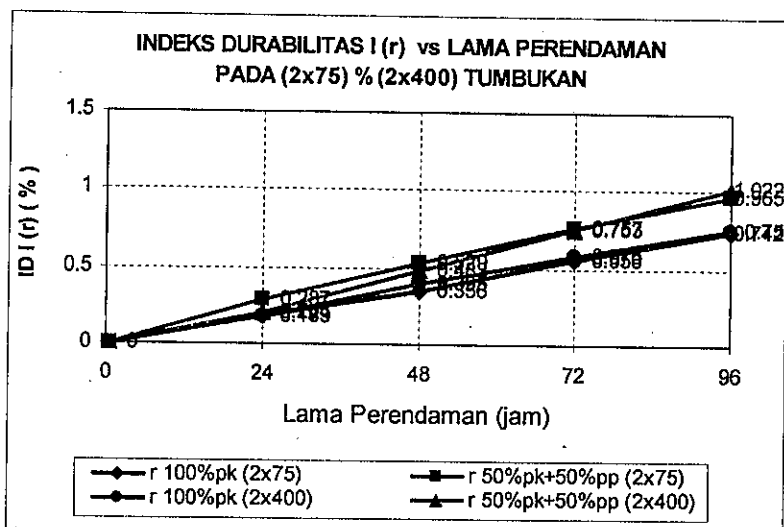
Pengaruh Indeks Durabilitas Pertama terhadap lama perendaman pada kondisi standard dan kepadatan mutlak, dapat dilihat pada Tabel 4.41, Tabel 4.42, Gambar 4.19, serta Tabel 4.43., Tabel 4.44 dan Gambar 4.20., berikut ini:

Tabel 4.41. Pengaruh nilai r terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2x75)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
r 100% pk	-	0	0,179	0,356	0,556	0,742
r 50%pk + 50% pp	-	0	0,287	0,529	0,757	0,965

Tabel 4.42. Pengaruh nilai r terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
r 100% pk	-	0	0,183	0,395	0,576	0,750
r 50%pk + 50% pp	-	0	0,204	0,482	0,753	1,022



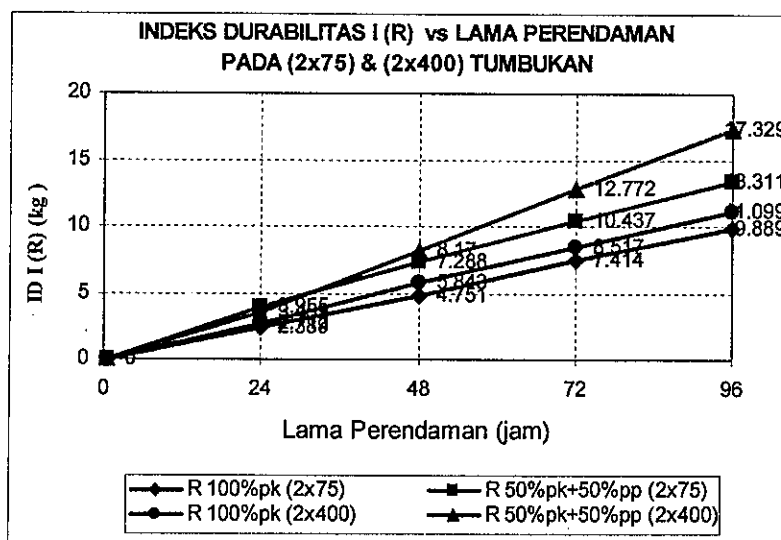
Gambar 4.19. Grafik hubungan nilai (r) terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2 x 75) dan kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Tabel 4.43. Pengaruh nilai R terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2 x 75)

Karakteristik	Syarat (kg)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
R 100% pk	-	0	2,389	4,751	7,414	9,889
R 50%pk + 50% pp	-	0	3,955	7,288	10,437	13,311

Tabel 4.44. Pengaruh hubungan nilai R terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2 x 400)

Karakteristik	Syarat (kg)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
R 100% pk	-	0	2,712	5,843	8,517	11,099
R 50%pk + 50% pp	-	0	3,453	8,170	12,772	17,329



Gambar 4.20. Grafik hubungan nilai (R) terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2 x 75) dan kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Dari Tabel 4.41, dan Tabel 4.42. serta Gambar 4.19, di atas dapat dilihat Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks penurunan stabilitas (r), baik pada kondisi standar maupun pada kondisi kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks penurunan stabilitas (r) untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standard dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 0%, naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 0,742%. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 0% naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 0,750%. Sedangkan indeks penurunan stabilitas (r) untuk gradasi 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standard dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 0%, naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 0,965%. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 0%, naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 1,022%. Semakin besar nilai indeks penurunan stabilitas (r) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan agregat - aspal.

Dari Tabel 4.43, dan Tabel 4.44, serta Gambar 4.20, di atas dapat dilihat Lama perendaman mengakibatkan naik nilai absolut kehilangan stabilitas (R), baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai absolut stabilitas (R) untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standard dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 0 kg, naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 9,889 kg. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 0 kg naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 11,099kg. Sedangkan nilai absolut stabilitas (R) untuk gradasi 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standard dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 0 kg, naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 13,311 kg. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 0 kg, naik pada durasi perendaman 96 jam menjadi 17,329 kg. Semakin besar nilai indeks penurunan stabilitas maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan agregat - aspal

b. Indeks Durabilitas kedua

Indeks durabilitas kedua didefinisikan sebagai rerata luasan kehilangan kekuatan yang dibentuk antara kurva durabilitas dan garis $S_0 = 100\%$, indeks durabilitas kedua dinotasikan dengan a (%), dimana nilai positif menunjukkan adanya kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negative berarti terdapat penambahan kekuatan. Nilai kekuatan sisa dari indeks durabilitas kedua (S_a , %), Nilai absolut ekivalen kehilangan kekuatan A (kg) dan nilai absolute ekivalen kuat tahanan (S_A , kg).

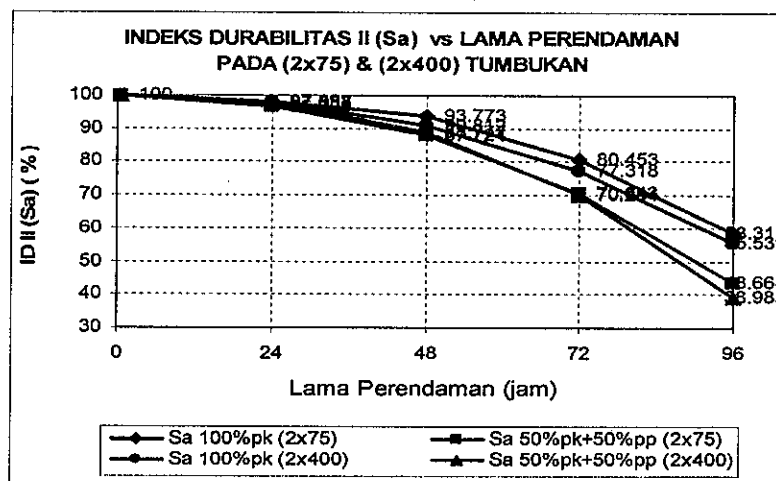
Pengaruh lama perendaman terhadap Indeks durabilitas kedua pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.45, Tabel 4.46, dan Gambar 4.21., serta Tabel 4.47, Tabel 4.48., dan Gambar 4.22, berikut ini :

Tabel 4.45. Pengaruh nilai S_a terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2 x 75)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
S_a 100% pk	-	100	97,938	93,773	80,453	58,311
S_a 50%pk + 50% pp	-	100	96,701	87,724	70,643	43,668

Tabel 4.46. Pengaruh nilai S_a terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2 x 400)

Karakteristik	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
S_a 100% pk	-	100	97,892	90,812	77,318	55,539
S_a 50%pk + 50% pp	-	100	97,657	88,777	70,264	38,985



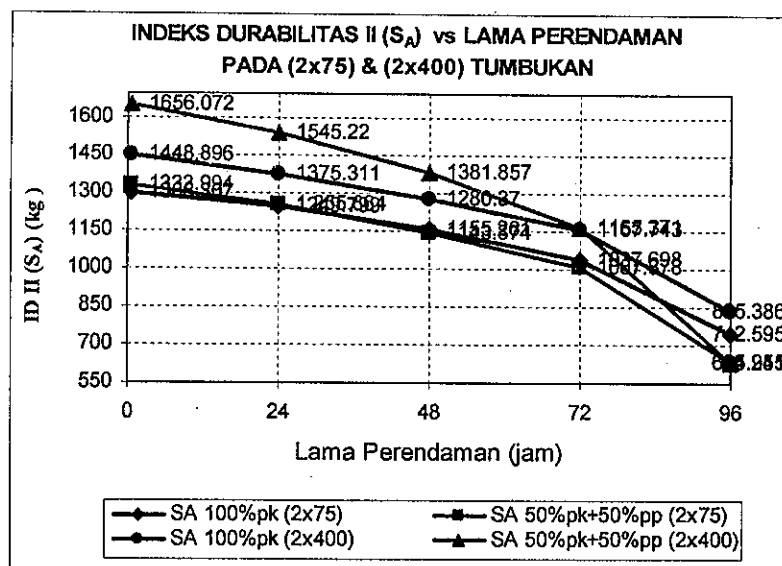
Gambar 4.21. Grafik hubungan nilai (S_a) terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2 x 75) dan kondisi kepadatan mutlak (2x400)

Tabel 4.47. Pengaruh nilai S_A terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2 x 75)

Karakteristik	Syarat (kg)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
S_A 100% pk	-	1305,31	1249,8	1155,26	1037,7	742,6
S_A 50%pk + 50% pp	-	1333,99	1255,66	1143,87	1007,38	635,26

Tabel 4.48. Pengaruh nilai S_A terhadap lama perendaman pada kondisi kepadatan mutlak (2 x 400)

Karakteristik	Syarat (kg)	Lama Perendaman (jam)				
		1/2	24	48	72	96
S_A 100% pk	-	1448,90	1375,31	1280,37	1157,74	835,39
S_A 50%pk + 50% pp	-	1656,07	1545,22	1381,86	1165,37	634,94



Gambar 4.22. Grafik hubungan nilai (S_A) terhadap lama perendaman pada kondisi standard (2 x 75) dan kondisi kepadatan mutlak (2X400)

Dari Tabel 4.45, dan Tabel 4.46, serta Gambar 4.21, di atas dapat dilihat Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai indeks stabilitas sisa (S_a), baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks stabilitas sisa (S_a) untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½ jam adalah 100%, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 58,311 %. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman ½ jam adalah 100 % turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 55,539 %. Sedangkan indeks stabilitas sisa (S_a) untuk gradasi 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada

kondisi standard dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 100 %, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 43,668 %. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 100 %, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 38,985 %. Nilai indeks stabilitas sisa (S_a) adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran.

Semakin kecil nilai indeks stabilitas sisa (S_a) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat.

Dari Tabel 4.47, dan Tabel 4.48, serta Gambar 4.22, di atas dapat dilihat Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai absolut ekivalen kuat tahan (S_A) , baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai absolut ekivalen kuat tahan (S_A) untuk gradasi 100% pasir kali pada kondisi standard dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 1305,31 kg, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 742,6 kg. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 1448,90 kg turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 835,39 kg. Sedangkan nilai absolut ekivalen kuat tahan (S_A) untuk gradasi 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standard dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 1333,99 kg, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 635,26 kg. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 1656,07 kg, turun pada durasi perendaman 96 jam menjadi 634,94 kg. Semakin kecil nilai absolut ekivalen kuat tahan (S_A) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat.

4.2.5 Evaluasi Hasil laboratorium uji *Marshall*, *IRS* dan Perendaman *Modifikasi Tahap II* terhadap pengaruh Lama Perendaman

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran *HRS-WC* didapat hasil rekapitulasi yang memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi pada tahap II terhadap pengaruh perendaman air selama 96 jam adalah sebagai berikut ini :

Tabel 4.49. Pengaruh Lama Perendaman terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400) untuk variasi gradasi 100 % pasir kali

Karakteristik <i>Marshall</i>	Syarat	(2x75) tumbukan					(2x400) tumbukan				
		½ jam	24 hari	48 jam	72 jam	96 jam	½ jam	24 hari	48 jam	72 jam	96 jam
<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,337	2,337	2,334	2,329	2,303	2,386	2,393	2,388	2,395	2,364
<i>VMA</i> (%)	> 18	18,264	18,266	18,353	19,531	19,437	16,521	16,286	16,463	16,220	17,312
<i>VFB</i> (%)	> 65	80,169	80,148	79,655	78,719	74,213	90,488	92,045	90,900	92,486	85,867
<i>VIM</i> _{2x75} (%)	3 - 6	3,630	2,632	3,734	3,944	5,012	1,575	1,298	1,506	1,219	2,507
<i>VIM</i> _{2x400} (%)	> 2										
Stabilitas (kg)	> 800	1385,8	1342	1324,1	1267,1	1254	1509,3	1493,6	1480,1	1473	1435,4
<i>Flow</i> (mm)	> 2	3,465	3,880	4,220	4,325	4,465	3,165	3,545	4,150	4,300	4,445
<i>MQ</i> (kg/mm)	>200	400,4	346	313,7	293	281,7	447,7	421,7	357,4	342,7	324,4
Karakteristik Perendaman Modifikasi		(2x75) tumbukan					(2x400) tumbukan				
		½ jam	24 hari	48 jam	72 jam	96 jam	½ hari	24 hari	48 jam	72 jam	96 jam
<i>IRS</i> standard (%)		100	95,79	91,58	85,71	82,27	100	95,69	89,95	87,08	83,34
ID I (r, %)		0	0,179	0,356	0,556	0,742	0	0,183	0,395	0,576	0,750
ID I (R, kg)		0	2,389	4,751	7,414	9,889	0	2,712	5,843	8,517	11,099
ID II (Sa, %)		100	97,938	93,773	80,453	58,311	100	97,892	90,812	77,318	55,539
ID II (SA, kg)		1305,316	1249,799	1155,261	1037,698	742,595	1448,896	1375,311	1280,370	1157,743	835,386

Tabel 4.50. Pengaruh Lama Perendaman terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2x75) dan kepadatan mutlak (2x400) untuk variasi gradasi 50%pasir kali + 50%pasir pantai

Karakteristik <i>Marshall</i>	Syarat	(2x75) tumbukan					(2x400) tumbukan				
		½ jam	24 hari	48 jam	72 jam	96 jam	½ jam	24 hari	48 jam	72 jam	96 jam
<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,354	2,348	2,345	2,345	2,338	2,446	2,421	2,424	2,390	2,405
<i>VMA</i> (%)	> 18	17,730	17,932	18,038	18,046	18,261	14,502	15,385	15,267	16,477	15,925
<i>VFB</i> (%)	> 65	69,045	68,080	67,592	67,552	66,599	87,701	81,889	83,427	75,416	79,001
<i>VIM</i> _{2x75} (%)	3 - 6	5,492	5,724	5,846	5,856	6,102	1,784	2,799	2,663	4,052	3,418
<i>VIM</i> _{2x400} (%)	> 2										
Stabilitas (kg)	> 800	1475,4	1424,3	1392,7	1357,4	1316,6	1755,7	1726,2	1621,2	1586,3	1508,1
<i>Flow</i> (mm)	> 2	2,410	2,800	3,105	3,460	3,940	2,910	3,070	3,580	3,900	4,075
<i>MQ</i> (kg/mm)	>200	618,5	516,4	469,9	393,6	342,8	610,6	562,2	468,5	408,2	370,1
Karakteristik Perendaman Modifikasi		(2x75) tumbukan					(2x400) tumbukan				
		½ jam	24 hari	48 jam	72 jam	96 jam	½ hari	24 hari	48 jam	72 jam	96 jam
<i>IRS</i> standard (%)		100	93,26	88,52	83,68	80,11	100	95,21	86,79	80,60	74,33
ID I (r, %)		0	0,287	0,529	0,757	0,965	0	0,204	0,482	0,753	1,022
ID I (R, kg)		0	3,955	7,288	10,437	13,311	0	3,453	8,170	12,772	17,329
ID II (Sa, %)		100	96,701	87,724	70,643	43,668	100	97,657	88,777	70,264	38,985
ID II (SA, kg)		1333,994	1255,664	1143,874	1007,378	635,255	1656,072	1545,220	1381,857	1165,371	634,941

a. Evaluasi Hasil laboratorium uji *Marshall*, *IRS* dan Perendaman *Modifikasi* Tahap II, variasi 100% agregat halus pasir kali terhadap pengaruh Lama Perendaman.

Dari hasil evaluasi pengujian diatas terlihat bahwa semua karakteristik *Marshall* standard terhadap lama perendaman pada variasi 100% agregat halus pasir kali, untuk hasil analisa *void* (*VMA*, *VFB* dan *VIM*) memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi pada tingkat kepadatan standar (2x75) tumbukan, sedangkan pada kepadatan mutlak / *refusal density* (2x400) tumbukan, nilai *VIM* pada perendaman ½ jam sampai 72 jam tidak memenuhi persyaratan, demikian pula nilai *VFB* mendekati titik jenuh diatas 90 %. Ini memperlihatkan keputusan memilih kadar aspal optimum pada nilai tengah antara 6,2 % sampai 8 % untuk kurang tepat, serta pengambilan nilai tengah dari gradasi agregat juga kurang tepat. Nilai pengujian stabilitas pada kondisi standard terhadap lama perendaman memenuhi persyaratan > 800 kg., sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak semua memenuhi persyaratan, nilai Stabilitas > 800 kg. Nilai pengujian *flow* pada kondisi standard dan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman memenuhi persyaratan, berada di atas nilai *flow* > 2 mm. Nilai pengujian *MQ* pada kondisi standard dan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman masih memenuhi persyaratan, berada di atas nilai *MQ* > 200kg/mm.

Nilai Indeks Stabilitas Sisa standard (*IRS*) pada kondisi standard dan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman memenuhi persyaratan, berada di atas nilai persyaratan untuk nilai *IRS* > 80 %.

Dari hasil evaluasi pengujian Perendaman *Modifikasi* terhadap lama perendaman di atas menghasilkan indeks durabilitas sebagai berikut :

1) Indeks Durabilitas Pertama

Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks penurunan stabilitas (r dan R), baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak., hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks penurunan stabilitas (r dan R) untuk variasi 100% agregat halus pasir kali pada kondisi standard terhadap lama perendaman ½ jam adalah 0 % naik pada lama perendaman 96 jam menjadi 0,742% untuk r dan 9,889 kg untuk R. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman naik pada lama perendaman 96 jam menjadi 0,75% untuk r dan 11,099 kg untuk R. Nilai indek penurunan stabilitas adalah ukuran

untuk memprediksi sifat keawetan campuran. Semakin besar nilai indeks penurunan stabilitas (r dan R) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak campuran agregat - aspal.

2) Indeks Durabilitas Kedua

Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai indeks stabilitas sisa (S_a), baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak, hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks stabilitas sisa (S_a / S_A) pada kondisi standar dengan lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 100 % (1305,316 kg) turun pada lama perendaman 72 jam menjadi 80,453% (1037,698 kg), serta perendaman 96 jam menjadi 58,311 % (742,595 kg). Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak dengan lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 100 % (1448,896 kg) turun pada lama perendaman 72 jam menjadi 77,318 % (1157,743 kg), serta untuk perendaman 96 jam menjadi 55,539 % (835,386 kg). Nilai indeks stabilitas sisa (S_a) adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin lama nilai indeks stabilitas sisa (S_a) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak campuran agregat - aspal. Sedangkan semakin kecil nilai absolut ekivalen kuat tahanan (S_A) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak campuran agregat - aspal. Melihat hasil dari prediksi pengujian perendaman modifikasi terhadap lama perendaman di atas hanya kuat bertahan sampai 72 jam, hasilnya tidak sama dengan nilai Indeks Stabilitas Sisa standar (IRS) pada kondisi standar dan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman yang masih berada di atas nilai persyaratan untuk nilai $IRS > 80$ %. Dari hasil analisis dan perhitungan yang ada sebaiknya diambil masa durabilitas hanya sampai 72 jam perendaman.

b. Evaluasi Hasil laboratorium uji *Marshall*, *IRS* dan Perendaman *Modifikasi* Tahap II, variasi agregat halus 50% pasir kali + 50% pasir pantai terhadap pengaruh Lama Perendaman.

Dari hasil evaluasi pengujian diatas terlihat bahwa semua karakteristik *Marshall* standard terhadap lama perendaman pada variasi 50% pasir kali + 50% pasir pantai , untuk hasil analisa void (*VMA*, *VFB* dan *VIM*) tidak memenuhi persyaratan pada tingkat kepadatan standar (2x75) tumbukan, nilai *VMA* pada perendaman ½ jam sampai 24 jam tidak memenuhi persyaratan sehingga menjadi nilai *VFB* mendekati nilai minimum 65 %, demikian pula nilai *VIM* mendekati nilai jenuh 6%. Ini memperlihatkan keputusan memilih kadar aspal optimum pada nilai tengah antara 6 % sampai 6,14 % kurang tepat, serta pengambilan nilai tengah dari gradasi agregat juga kurang tepat. Nilai pengujian stabilitas pada kondisi standard terhadap lama perendaman memenuhi persyaratan > 800 kg., sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak semua memenuhi persyaratan, nilai Stabilitas > 800 kg. Nilai pengujian *flow* pada kondisi standard dan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman memenuhi persyaratan, berada di atas nilai *flow* > 2 mm. Nilai pengujian *MQ* pada kondisi standard dan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman masih memenuhi persyaratan, berada di atas nilai *MQ* > 200kg/mm.

Nilai Indeks Stabilitas Sisa standard (*IRS*) pada kondisi standard dan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman memenuhi persyaratan, berada di atas nilai persyaratan untuk nilai *IRS* > 80 %.

Dari hasil evaluasi pengujian Perendaman *Modifikasi* terhadap lama perendaman di atas menghasilkan indeks durabilitas sebagai berikut :

1) Indeks Durabilitas Pertama

Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks penurunan stabilitas (*r* dan *R*), baik pada kondisi standar maupun pada kepadatan mutlak Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks penurunan stabilitas (*r* dan *R*) variasi 50% pasir kali + 50% pasir pantai pada kondisi standard terhadap lama perendaman ½ jam adalah 0 % naik pada lama perendaman 96 jam menjadi 0,965 % untuk *r* dan 13,311 kg untuk *R*. Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman naik pada lama perendaman 96 jam menjadi 1,022 % dan 17,329 kg untuk *R*. Nilai indek penurunan stabilitas adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin besar nilai indeks penurunan stabilitas (*r* dan *R*)

maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak campuran agregat - aspal.

2) Indeks Durabilitas Kedua

Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai indeks stabilitas sisa (S_a), baik pada kondisi standar maupun pada kondisi kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks stabilitas sisa (S_a / S_A) pada kondisi standar terhadap lama perendaman ½ jam adalah 100 % (1333,994 kg) turun pada lama perendaman 48 jam menjadi 87,724% (1143,874 kg), serta perendaman 96 jam menjadi 43,668 % (635,255 kg). Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman ½ jam adalah 100 % (1656,072 kg) turun pada lama perendaman 48 jam menjadi 88,777 % (1381,857 kg), serta 96 jam menjadi 38,985% (634,941 kg). Nilai indeks stabilitas sisa (S_a) adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin besar nilai indeks stabilitas sisa (S_a) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak campuran agregat - aspal. Sedangkan semakin kecil nilai absolut ekivalen kuat tahanan (S_A) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak campuran agregat - aspal. Melihat hasil dari prediksi pengujian perendaman modifikasi terhadap lama perendaman di atas hanya kuat bertahan sampai 48 jam, hasilnya tidak sama dengan nilai Indeks Stabilitas Sisa standar (IRS) pada kondisi standar dan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman yang masih berada di atas nilai persyaratan untuk nilai $IRS > 80$ %. Dari hasil analisis dan perhitungan yang ada sebaiknya diambil masa durabilitas hanya sampai 48 jam perendaman.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa *Marshall* tahap I untuk menentukan kadar aspal optimum variasi gradasi standard; 50 % pasir kali + 50% pasir pantai dan 100 % agregat halus pasir pantai :

- a. Analnsis *Marshall* tahap I untuk menentukan KAO, serta perbandingan sifat-sifat *Marshall* adalah sebagai berikut ini :

Uji analisis *void* campuran variasi gradasi standard dan pengujian stabilitas memenuhi persyaratan, maka ditentukan KAO pada nilai antara 6,2% - 8%, yaitu 7,1 %.

Uji analisis *void* campuran variasi gradasi 50 % pk + 50% pp yang memenuhi syarat : $VMA > 6\%$ - 6,14%, VFB 6% - 8% dan VIM 6% - 7%. Pengujian stabilitas memenuhi persyaratan, ditentukan KAO antara 6% - 6,14%, yaitu 6,07 %.

Uji analisis *void* campuran variasi gradasi 100 % agregat halus pasir pantai tidak memenuhi syarat, tidak dilanjutkan pada penelitian tahap II.

- b. Selanjutnya dilaksanakan penelitian Tahap II, yang ditunjukkan seperti berikut ini :

- (1).Nilai semua karakteristik *Marshall* terhadap lama perendaman, pada campuran variasi gradasi standard, memenuhi persyaratan, sedangkan pada (2x400) tumbukan, nilai VIM pada perendaman $\frac{1}{2}$ jam (1,58%) sampai 72 jam (1,22%) berada dibawah 2%, ini mengakibatkan nilai VFB pada perendaman $\frac{1}{2}$ jam (92,49%) yang mengindikasikan campuran mengalami deformasi permanen (*bleeding*). Sebaiknya pengambilan nilai tengah untuk kadar aspal optimum sebesar 7,1 % diturunkan menjadi 7%, untuk menghindari deformasi permanen.

Demikian pula pada campuran variasi gradasi 50 % pasir kali + 50% pasir pantai, untuk analisa *void* pada (2x75) tumbukan memenuhi persyaratan, adapun nilai VMA untuk perendaman $\frac{1}{2}$ jam (17,73%) sampai 24 jam (17,93%) berada dibawah 18%, sedangkan pada (2x400) tumbukan, nilai VIM pada perendaman $\frac{1}{2}$ jam (1,78%) berada dibawah 2%, ini mengakibatkan nilai VFB pada perendaman $\frac{1}{2}$ jam (69%) yang mengindikasikan campuran mengalami retak lelah. Sebaiknya pengambilan nilai tengah untuk kadar aspal optimum sebesar 6,07 % dinaikkan menjadi 6,14 %, serta gradasi sedikit dikasarkan untuk menghindari *fatig cracking*.

Nilai Indek Stabilitas Sisa (*IRS*) pada kondisi standard dan kondisi kepadatan mutlak untuk kedua variasi gradasi terhadap lama perendaman selama 96 jam memenuhi persyaratan dengan syarat $IRS > 80\%$.

(2). Dari hasil evaluasi pengujian Perendaman Modifikasi terhadap lama perendaman di atas menghasilkan indeks durabilitas sisa sebagai berikut :

(a). Indeks Durabilitas Pertama

Lama rendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks penurunan stabilitas, baik pada kondisi standar maupun kepadatan mutlak. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Semakin besar nilai indeks penurunan stabilitas maka mengindikasikan campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak campuran agregat - aspal.

(b). Indeks Durabilitas Kedua

Untuk campuran variasi gradasi standard pada kondisi lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam 100 % (1305,316 kg) turun pada lama 72 jam menjadi 80,453% (1037,698 kg), serta 96 jam menjadi 58,311 % (742,595 kg). Sedangkan kondisi kepadatan mutlak lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam 100 % (1448,896 kg) turun pada lama 72 jam 77,318 % (1157,743 kg), serta 96 jam menjadi 55,539 % (835,386 kg). Dari hasil analisis, sebaiknya diambil nilai S_A hanya sampai 72 jam rendaman.

Untuk campuran variasi gradasi 50% pk. + 50% pp. pada kondisi standar terhadap lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam 100% (1333,994 kg) turun pada perendaman 48 jam menjadi 87,724% (1143,874 kg), serta perendaman 96 jam menjadi 43,668 % (635,255 kg) Sedangkan pada kondisi kepadatan mutlak terhadap lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam 100 % (1656,072 kg) turun pada lama perendaman 48 jam 88,777 % (1381,857kg), serta 96 jam menjadi 38,985% (634,941 kg). Melihat hasil dari prediksi pengujian perendaman modifikasi terhadap lama perendaman di atas sebaiknya diambil nilai S_A hanya sampai 48 jam rendaman. Nilai S_A ini lebih jelek dari nilai S_A menggunakan variasi 100% agregat halus dari pasir kali, ini disebabkan gradasi variasi 50% pk. + 50% pp. lebih homogen karena bentuk dari material pasir pantai yang seragam.

Dari hasil analisis *void* dan uji *Marshall* Modifikasi untuk Lataston *HRS-WC* menggunakan bahan pasir pantai Sendang Sikucing sebagai pengganti faksi agregat halus dari pasir kali yang dapat dipakai pada komposisi 50 % pk. + 50 % pp., sedangkan untuk 100% pp. tidak dapat digunakan.

Kinerja dari bahan alternatif ini tidak sebaik bahan standarnya karena kadar aspal optimumnya hanya 6,07 % dibanding standarnya mencapai 7,1%, secara ekonomis menguntungkan, tetapi secara teknis rentan terhadap retak leleh, sehingga hanya dapat digunakan untuk konstruksi jalan kelas II (Jalan kabupaten/kota), tidak boleh digunakan untuk jalan propinsi atau jalan negara.

5.2 Saran

Dari hasil pengujian campuran agregat – aspal, beberapa saran untuk ditindak lanjuti, sebagai berikut :

- a. Dari hasil penelitian untuk mendapatkan kadar aspal optimum digunakan nilai tengah dari kadar aspal yang memenuhi persyaratan, hasilnya kurang memuaskan terhadap uji perendaman, dikarenakan nilai tengah dari kadar aspal ternyata menghasilkan nilai analisis *Void* pada kondisi kepadatan mutlak tidak memenuhi persyaratan, ini disebabkan masih tingginya KAO 7,1% untuk variasi 100 % pk., dan rendahnya KAO 6,07% untuk variasi 50% pk. + 50% pp. untuk itu disarankan dipakai nilai terkecil dari KAO yang memenuhi persyaratan untuk (7 %) variasi 100 % pk., dan KAO (6,14%) untuk variasi 50% pk + 50%pp, supaya mendapatkan nilai Rongga yang memadai, serta gradasi agregat dinaikkan dari nilai tengahnya. Sedangkan untuk variasi 100% pp direkomendasikan untuk tidak dipakai sebagai bahan untuk konstruksi jalan, karena tidak memenuhi persyaratan.
- b. Hasil analisis rongga, pengujian *Marshall* dan pengujian Perendaman Modifikasi pada campuran *HRS-WC* terhadap lama perendaman (96) jam di laboratorium, direkomendasikan lama perendaman untuk konstruksi lapis keras jenis laston *HRS-WC* yang terendam oleh air tidak boleh lebih dari 3 hari atau 72 jam untuk variasi 100 % gradasi agregat halus dari pasir kali, dan tidak boleh lebih dari 2 hari atau 48 jam untuk variasi 50% gradasi pasir kali + 50% pasir pantai secara terus menerus.
- c. Untuk Laston *HRS-WC* dengan menggunakan variasi 50% gradasi pasir kali + 50% pasir pantai disarankan untuk dipergunakan pada konstruksi jalan ditingkat Kabupaten/ kota, mengingat kinerja yang dihasilkan stabilitas terlalu tinggi mengakibatkan fleksibilitas rendah, sehingga mudah terjadi retak leleh, serta pengawasan yang ketat pada gradasi pasir pantai Sendang Sikucing sesuai gradasi *HRS-WC*, karena pasir pantai Sendang Sikucing sulit disulit mencapai gradasi yang diinginkan sesuai dengan persyaratan gradasi *HRS-WC*.

DAFTAR PUSTAKA

1. *AASHTO*, (1993), *Guide For Design of Pavement Structure*, Washington DC.
2. Anonim, (1993), Spesifikasi Teknik, Proyek Perencanaan dan Pengawasan Teknik Peningkatan Jalan Nasional (P3TN), Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
3. Bagus Priyatno, (2001), Metode Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (PRD) Berdasarkan Spesifikasi Yang Disempurnakan, Dalam Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, Oktober 2001.
4. Cakra Nagara dan Bambang IS, (2003), Pengaruh Penguapan Pengembunan Berulang terhadap Durabilitas Beton Aspal yang menggunakan Metode Pencampuran Hot Mix dan Cold Mix, Konferensi Nasional Teknik Jalan ke-7 Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia, Jakarta.
5. Craus, J. et al, (1981), *Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Typa and Properties*, *Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions*, San Diego, California, February 16, 17 and 18, 1981, Volume 50.
6. Departemen Pekerjaan Umum, (1987), Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, SKBI-2.326.UDC.625.73(02), Biro Penerbit PU.
7. Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah, (1999), Pedoman Perencanaan Campuran Aspal Panas dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak.
8. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, (2001), Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas.
9. Harold N. Atkins, (1996), *Highway Materials, Soils and Concretes*, 3th Edition *Prentice Hall*, New Jersey.
10. Hartom, (1985), The Influence of Fine Aggregate Typa on the Resistance to Permanent Deformation of Hot Rolled Asphalt, Magister Thesis, Institute of Technology Bandung.

11. Henry Kesauli, (1997), *Pengaruh Efek Pemanasan ulang pada Durabilitas Campuran Beton Aspal*, Tugas Akhir, Program Studi Transportasi UGM, Yogyakarta.
12. Hunter RN, (1984), *Bituminous Mixtures in Road Construction*, Thomas Telford, London.
13. Ishai, I, (1977), *Effect of the Filler on Aggregate Bitumen Adhesion Properties in Bituminous Mixture*, Proceeding of the Association of Asphalt Paving Technologists, Asphalt Paving Technology.
14. K. A. Zamhari, (1999), *Kelompok Bidang Keahlian Bahan Perkerasan Jalan, Campuran Aspal Beton*.
15. Kennedy, T. W, (1996), *The Bottom Line: Superpave System Works*, The Superpave Asphalt research Program, The University of Texas at Austin.
16. Kerbs, R.D and Walker, R.D, (1971), *Highway Materials*, McGraw-Hill, New York.
17. Sam Sudjarwo Mihardjo, (2002), *Pengaruh Temperatur Pemadatan Terhadap Deformasi Plastis dan Durabilitas Campuran Beton Aspal*.
18. Shell Bitumen, (1990), *The Shell Bitumen Hand Book*.
19. Silvia S, (1999), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova Bandung.
20. Siswosoebrotho, et al. (2002), *Karakteristik Pasir dan Bahan Pengisi dari laut serta Pengaruhnya terhadap Durabilitas Campuran Beraspal Jenis HRS*, Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya ITB, Bandung.
21. Syukur Sebayang, (2000), *Pengaruh Pasir Pantai terhadap Mutu Campuran Aspal Beton*, Jurnal Iptek, Universitas Lampung.
22. Y. Martono Hadi, (2003), *Permeabilitas dan Pengaruhnya terhadap Durabilitas Campuran Beraspal*, Makalah Konferensi Nasional Teknik Jalan ke-7 Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia, Jakarta.